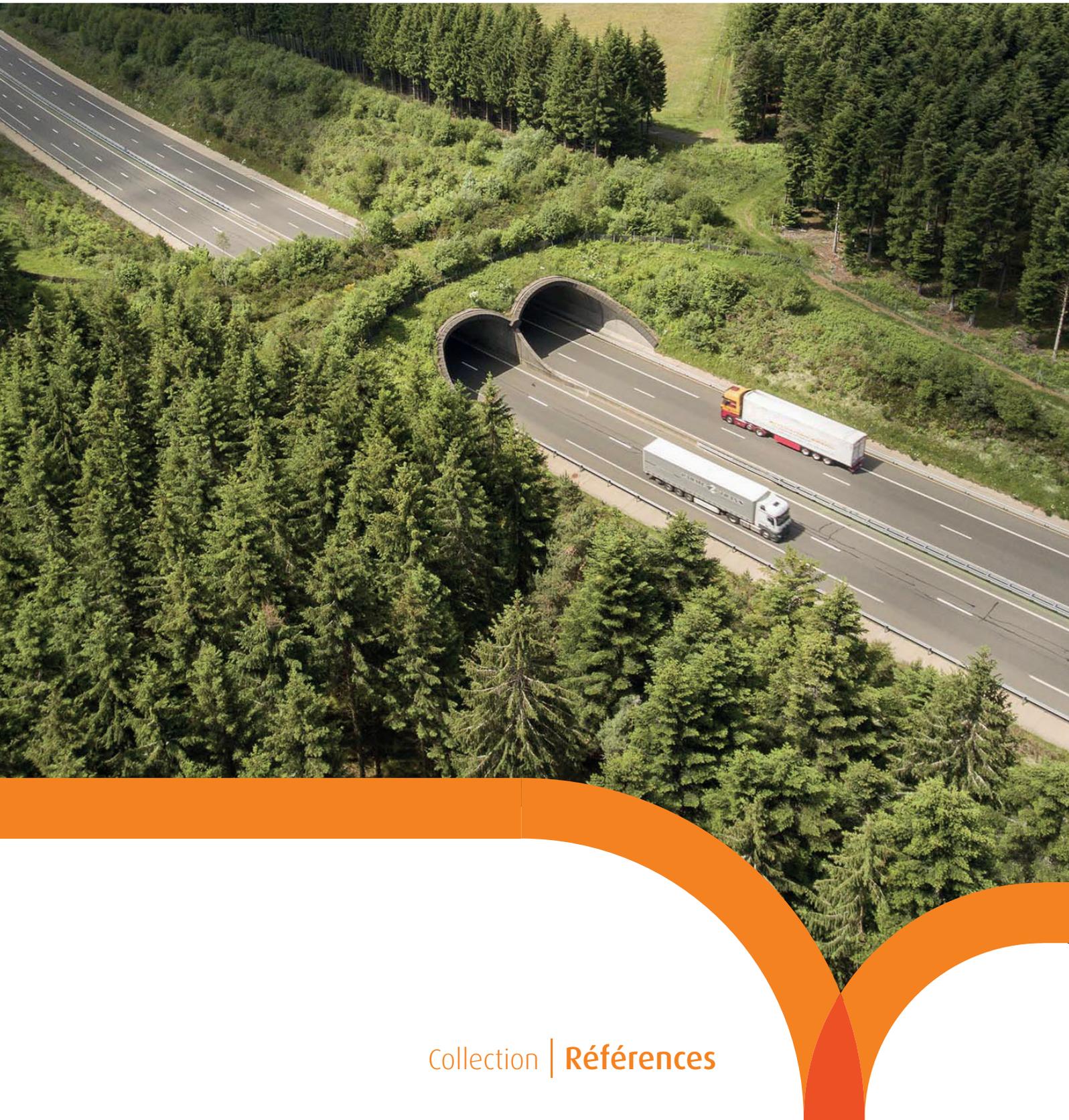


Les passages à faune

Préserver et restaurer les continuités écologiques
avec les infrastructures linéaires de transport



Les passages à faune

Préserver et restaurer
les continuités écologiques avec
les infrastructures linéaires de transport

Cerema

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
Siège social : cité des mobilités – 25, avenue François Mitterrand – CS 92 803 – F-69674 Bron Cedex
www.cerema.fr

Collection « Références »

Cette collection regroupe l'ensemble des documents de référence portant sur l'état de l'art dans les domaines d'expertise du Cerema (recommandations méthodologiques, règles techniques, savoir-faire...), dans une version stabilisée et validée. Destinée à un public de généralistes et de spécialistes, sa rédaction pédagogique et concrète facilite l'appropriation et l'application des recommandations par le professionnel en situation opérationnelle.

Remerciements

Cet ouvrage, oeuvre collective du Cerema a été piloté par François Nowicki (Cerema).

Il a été réalisé en liaison avec le ministère de la Transition écologique et notamment la Direction générale des infrastructures de transport et de la mer (DGITM), la Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature (DGALN) et le Commissariat général au développement durable (CGDD).

Il a été rédigé par :

Géraldine Audié-Liebert, Virginie Billon, Jean-François Breaud, Éric Guinard, Éric Le Mitouard, François Nowicki, Laurence Thuillier du Cerema.

Ont également contribué :

Emilie Busson (Cerema), Luc Chrétien (Cerema), Julian Pichenot (Cerema), Delphine Souillot (Cerema), Jean Carsignol (alors au Cerema), Pascal Fournier (Groupe de Recherche et d'Etudes pour la Gestion de l'Environnement (GREGE)), Vincent Vignon (Office de génie écologique (OGE)).

Sont remerciés les relecteurs (de tout ou partie du document) :

Marine Arzur (Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL) Grand Est), Jérôme Bacquaert (Conseil départemental (CD) 62), Caryl Buton (Cabinet X-AEQUO), Philippe Chavaren (VINCI Autoroutes), Luc Chrétien (Cerema), Annabelle Cluzeau (ministère de la Transition écologique (MTES)/Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM))/Direction des infrastructures de transport (DIT)), Benoit Fabien (ministère de la Transition écologique, commissariat général au développement durable (CGDD)), Pascal Fournier (GREGE), Marc Gigleux (Cerema), Claude Guillet (Cerema), Éric Gardais (MTES/DGITM/DIT), Elvire Henry (MTES/DGITM/DIT), Elryck Josset (MTES/DGITM/DIT), Alexandre Kavaj (MTES/DGITM/DIT), Antoine Lombard (MTES/Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature (DGALN)/Direction de l'eau et de la biodiversité (DEB)), Marine Le Lay (SNCF Réseau), Manuel Le Moine (SNCF Réseau), Sophie Marty-Le-Ridant (Société des autoroutes du Nord et de l'Est de la France (SANEF)), Marie Masson (Société française pour l'étude et la protection des mammifères (SFPEM)), Alain Morand (Cerema), Grégoire Palièrse (DREAL Grand Est), Christophe Pineau (Cerema), Yves Urbain (AREA, groupe Autoroutes Paris-Rhin-Rhône (APRR)), Sylvie Vanpeene (Institut national de la recherche agronomique (INRAE)), Vincent Vignon (OGE), Magali Perrin (Mayenne Nature Environnement), Loïc Pianfetti (SNCF Réseau), Sylvain Richard (Office français de la biodiversité (OFB)), Thomas Schwab (Cerema), Franck Simmonet (Groupe mammalogique Breton).

Remerciement également à :

Jérôme Albaret (Cerema), Denis Allard (Parc naturel régional du Marais Poitevin), Laurent Arcelin (CD57), Martine Barrandon (JBS Métallerie), Barb Beasley (Association of Wetland Stewards for Clayoquot and Barkley Sounds), Steve Béga (WILDLIFE FENCING & MITIGATION SOLUTIONS), Adel Ben Salem (DIR Est), Xavier Bonnet (CNRS - Centre d'études biologiques de Chizé), Michel Bramard (OFB), Vincent Brun (Cerema), Guillaume Bruno (DIR Est), Christian Bulle (CD 25), Mélody Chantoiseau (Ville de Chamblais-lès-Tours), Céline Coudurier (Autoroutes et tunnel du Mont-Blanc (ATMB)), Stéphan Couret (AquaTera Solutions), Anne-Sophie Croyal (CD 38), Virginie Cuaz (Cerema), Éric Delaye (Cerema), Anne-Claire De Rouck (Cerema), Mégane Desmoutiere (Fédération des chasseurs de Haute-Savoie), Sébastien Fauré (Eurovia Cognac TP), Anthony Février (Bonna Sabla), Thibaut François (Métropole du Grand Nancy), Ludovic Gacek (APRR), Nicolas Georges (Cerema), Gérard Goeller (DIR Est), Thomas Gotthardt (MAIBACH), Cathy Guillot (ECOSCOP), Christine Henn (Mobil Hessen), Tompy Hoedelmans (OMGEVING), Sylvia Idelberger (Stiftung Natur und Umwelt RLP), Eric Jourdan (Académie de Besançon), Fiona Macri (Rhin Vignoble Grand Ballon (RVGB)), Frédéric Marques (ULMA Architectural Solutions), Philippe Maillard (Pro Natura), Daniel Martin, Gaëtan Masson (ATMB), Pierre Mazuer (Cerema), Annette Mertens (Lifestrade.it), Mathieu Narce (Institut méditerranéen du patrimoine cynégétique et faunistique), Catherine Néel (Cerema), Éric Nicolas (DIR Est), Gérald Pagneux (Cerema), Julie Palaysi (VOLVO Cars), Olivier Pichard (Cerema), Vanessa Rael (Cerema), Emmanuel Rondeau, Carme Rossel (Minuartia), Laure Rousselle (CD 24), Jean-Marc Ruez (Commune d'Ahuy), Marion Semmer (VINCI Constructions), Romain Sordello (OFB), Julien Soret (Métropole du Grand Nancy), Marek Stolarski (NEEL Pologne), Olivier Subregis (TecInfra), Stefan Suter (WildLife Solutions), Marc Thauront (Ecosphère), Pierre-Antoine Thévenin (Union nationale des entreprises du paysage), Catherine Thibaudat (ACO), Perrine Vermeersh (Cerema), François Varenne (Ligue pour la protection des oiseaux 85), Irvin Van Hemert (Luchtfotografie), Frédéric Voegel (DREAL Grand Est), Martin Weber (PIRSCH), Jean-Paul Zimmer (DIR Est).

Comment citer cet ouvrage :

Cerema. *Les passages à faune. Préserver et restaurer les continuités écologiques, avec les infrastructures linéaires de transport*. Bron : Cerema, 2021. Collection : références.

ISBN : 978-2-37180-525-5 (pdf)

Avant-propos

Ce guide est un ouvrage méthodologique et technique dont l'objectif est de mettre à disposition un maximum de recommandations nécessaires à la prise en compte des continuités écologiques lors de la conception ou de la requalification des infrastructures.

Afin de faciliter son utilisation sans avoir nécessairement à s'imprégner de la totalité du document, ce guide est construit autour de quatre grandes parties correspondant chacune à une thématique. Chaque partie est elle-même divisée en une série de fiches techniques dont la visée est d'apporter une réponse aux questions que se posent les acteurs d'un projet d'aménagement routier ou ferroviaire.

Sommaire

■ Préambule 11

PARTIE I

■ Continuités écologiques et infrastructures de transport terrestre 14

FICHE 1.	Qu'est-ce qu'une continuité écologique ?	16
FICHE 2.	Quelles sont les différentes méthodes pour identifier les continuités écologiques ?	22
FICHE 3.	Pourquoi faut-il tenir compte des continuités écologiques dans le cadre d'un projet d'infrastructure linéaire de transport ?	28
FICHE 4.	Comment apporter une réponse efficace à l'interruption des continuités écologiques ?	42

PARTIE II

■ Les passages à faune, une mesure efficace pour rétablir les connectivités transversales 58

1.	Les passages à faune sur les nouveaux projets d'infrastructures	62
1.1.	Les passages toute faune	64
FICHE 5.	Où construire un passage toute faune* ?	66
FICHE 6.	Quel type de passage toute faune choisir ?	77
FICHE 7.	Comment dimensionner le passage ?	90
FICHE 8.	Comment concevoir et aménager les passages toute faune ?	106
FICHE 9.	Quels sont les différents types de constructions ? Pour quel coût ?	133
1.2.	Les passages et aménagements pour la petite faune	136
FICHE 10.	Où construire des passages petite faune ?	137
FICHE 11.	Comment aménager les petits ouvrages hydrauliques pour la petite faune ?	140
FICHE 12.	Comment aménager des ouvrages agricoles/forestiers/piétons pour la petite faune ?	154
FICHE 13.	Comment aménager des passages spécialisés (passage amphibiens – passage canopée) ?	156
FICHE 14.	Comment aménager des passages petite faune non spécialisés ?	165
2.	Sur les infrastructures existantes - Requalification	178
2.1.	L'aménagement et/ou la requalification d'ouvrages en place	179
FICHE 15.	Comment améliorer la fonctionnalité des passages à faune existants ?	180
FICHE 16.	Comment favoriser le passage de la petite faune sur les ouvrages existants non dédiés à la faune ?	183

2.2.	Construction d'ouvrages neufs sur une infrastructure existante	196
FICHE 17.	Où et comment construire un passage toute faune sur une infrastructure existante ?	197
FICHE 18.	Comment créer un passage petite faune sur une infrastructure existante ?	199
2.3.	Autres aménagements	205
FICHE 19.	Quels sont les dispositifs avertisseurs (faune et/ou véhicules) permettant de limiter les collisions ?	206

P A R T I E III

■	Les dépendances vertes, support des continuités longitudinales	212
FICHE 20.	Comment intégrer la biodiversité dans la conception des dépendances ?	217
FICHE 21.	Comment permettre l'accès des dépendances à la faune tout en assurant sa protection ? Les clôtures et les barrières	227

P A R T I E IV

■	Comment assurer l'efficacité des mesures dans le temps : entretien, suivis	254
FICHE 22.	Comment entretenir les passages à faune ?	256
FICHE 23.	Comment assurer le suivi des passages à faune ?	260
■	Glossaire	267
■	Liste des abréviations	275
■	Bibliographie	279
■	Table des matières	293

Les encadrés présents dans le guide répondent à un code :

-  Informations issues de retours d'expérience, de publications scientifiques...
-  Indication sur les coûts que peuvent représenter les mesures. Les prix sont donnés à titre indicatif et sont basés sur des retours d'expériences (parfois une seule référence) dont les spécificités (conjoncture économique, importance du marché, caractéristiques techniques...) induisent inévitablement une grande variabilité. Les valeurs varient également par rapport à l'évolution du marché et seront donc à actualiser en fonction de la date d'utilisation.
-  « Les essentiels » correspondent à une synthèse des points les plus importants du chapitre correspondant.
-  Point de vigilance.
-  Dispositif possible mais à éviter.
-  Dispositif à proscrire.
-  Dispositif recommandé.
-  Renvoi au glossaire.

Préambule

La France métropolitaine est à l'interface de quatre zones biogéographiques sur les six que compte l'Europe : atlantique, continentale, méditerranéenne et montagnarde. La variété des climats, des sols, des altitudes crée une diversité spécifique très grande. Le territoire métropolitain compte environ 6 000 espèces de plantes supérieures* et près de 1 500 espèces vertébrées, dont la moitié en milieu marin. Il est par contre difficile de dire combien il y a d'espèces animales au total, car les connaissances sont encore fragmentaires pour certains groupes d'invertébrés. Rien que pour les insectes, on dénombre près de 40 000 espèces recensées actuellement. La France est concernée par les points chauds de biodiversité* dans le bassin méditerranéen, les Antilles, la Polynésie, la Nouvelle-Calédonie et l'océan Indien.

La biodiversité est un élément du patrimoine commun qui mérite d'être préservé en tant que tel. En outre, elle rend un grand nombre de services aux sociétés humaines, les services écosystémiques. Elle fournit l'oxygène, la nourriture, des matières premières ou encore des molécules à partir desquelles sont constitués certains médicaments. Elle entre aussi en jeu pour assurer certains services tels que la

pollinisation (70 % des cultures dépendent de la pollinisation animale, des insectes en particulier), la fertilisation des sols, l'épuration de l'eau, la prévention des inondations, la structuration des paysages ou l'amélioration de notre cadre de vie.

Selon la liste rouge 2018 de l'UICN des espèces menacées en France, sur les 2 712 espèces évaluées pour la faune et la flore, 93 sont en danger critique d'extinction, 180 sont en danger et 626 sont qualifiées de vulnérables. L'érosion de la biodiversité s'accélère. La communauté scientifique estime que le rythme actuel d'extinction des espèces est 100 à 1 000 fois supérieur au taux naturel d'extinction (IPBES, 2019). Dans le contexte européen, la France est le 5^e pays, après l'Espagne, le Portugal, l'Italie et la Grèce, abritant le plus grand nombre d'espèces mondialement menacées. Cette érosion accélérée est quasi exclusivement liée aux activités humaines. Les cinq causes majeures de destruction de la biodiversité sont aujourd'hui identifiées : la disparition et la fragmentation des écosystèmes, la surexploitation des espèces sauvages, l'introduction d'espèces exotiques envahissantes, les pollutions et le changement climatique.



Renard roux. Source : François Nowicki.

Parmi ces causes, la disparition et la fragmentation des écosystèmes sur le territoire national sont en partie liées au développement, depuis les années 1960, des infrastructures de transport terrestre, notamment lorsque la perméabilité de celles-ci n'était pas assurée. Aujourd'hui, si les nouveaux projets d'infrastructures sont bien moins nombreux et que la prise en compte des milieux naturels ne cesse de s'améliorer, l'impact de ces nouvelles coupures est souvent renforcé par le niveau de fragmentation existant.

Ainsi, l'aménagement du territoire passe aujourd'hui par le maintien des continuités écologiques existantes lors de la conception de nouveaux projets, mais également par la restauration, sur les infrastructures en place, des fonctionnalités écologiques terrestres, aquatiques et semi-aquatiques interrompues par le passé. Ce guide technique a ainsi pour objet d'aider et de faciliter la prise en compte de ces enjeux lors des différents projets d'aménagement d'infrastructures linéaires de transport. Il constitue notamment une réactualisation des anciens guides de référence *Passages pour la grande faune*, SETRA, 1993 et *Aménagements et mesures pour la petite faune*, SETRA, 2005.

Il est composé de quatre parties comportant chacune une série de fiches dont l'objectif est de fournir une réponse aux questions que peuvent se poser les opérateurs d'infrastructures. La première partie vise tout d'abord à fournir les informations nécessaires à la bonne compréhension des enjeux que constituent les continuités écologiques et les raisons pour lesquelles il est nécessaire d'en tenir compte dans le cadre d'un projet d'infrastructure. Les deux parties suivantes correspondent aux domaines plus techniques et explicitent de façon détaillée, en fonction des configurations, comment il est possible de rétablir ou de maintenir les continuités écologiques transversales (passage à faune) et longitudinales (aménagement des dépendances vertes). Enfin, la quatrième et dernière partie s'attache à donner des indications sur les possibilités d'assurer dans le temps l'efficacité des mesures décrites préalablement, à travers l'entretien et le suivi de ces dernières.



CONTINUITÉS ÉCOLOGIQUES ET INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT TERRESTRE

FICHES

- 1 Qu'est-ce qu'une continuité écologique ?
- 2 Quelles sont les différentes méthodes pour identifier les continuités écologiques ?
- 3 Pourquoi faut-il tenir compte des continuités écologiques dans le cadre d'un projet d'infrastructure linéaire de transport ?
- 4 Comment apporter une réponse efficace à l'interruption des continuités écologiques ?

Qu'est-ce qu'une continuité écologique ?

Un outil d'aménagement du territoire

La trame verte et bleue* (TVB) a été introduite dans le droit français par les lois dites « Grenelle I et II » en 2009 et 2010. C'est un outil d'aménagement durable du territoire dont l'objectif premier est d'enrayer la perte de biodiversité*, en conservant et en améliorant la qualité écologique des milieux et en garantissant la libre circulation des espèces de faune et de flore sauvages.

Elle vise également à :

- accompagner les évolutions du climat en permettant à une majorité d'espèces et d'habitats de s'adapter aux variations climatiques ;
- assurer la fourniture des services écologiques ;
- favoriser les activités durables, notamment agricoles et forestières ;
- maîtriser l'urbanisation, l'implantation des infrastructures et améliorer la perméabilité des infrastructures existantes.

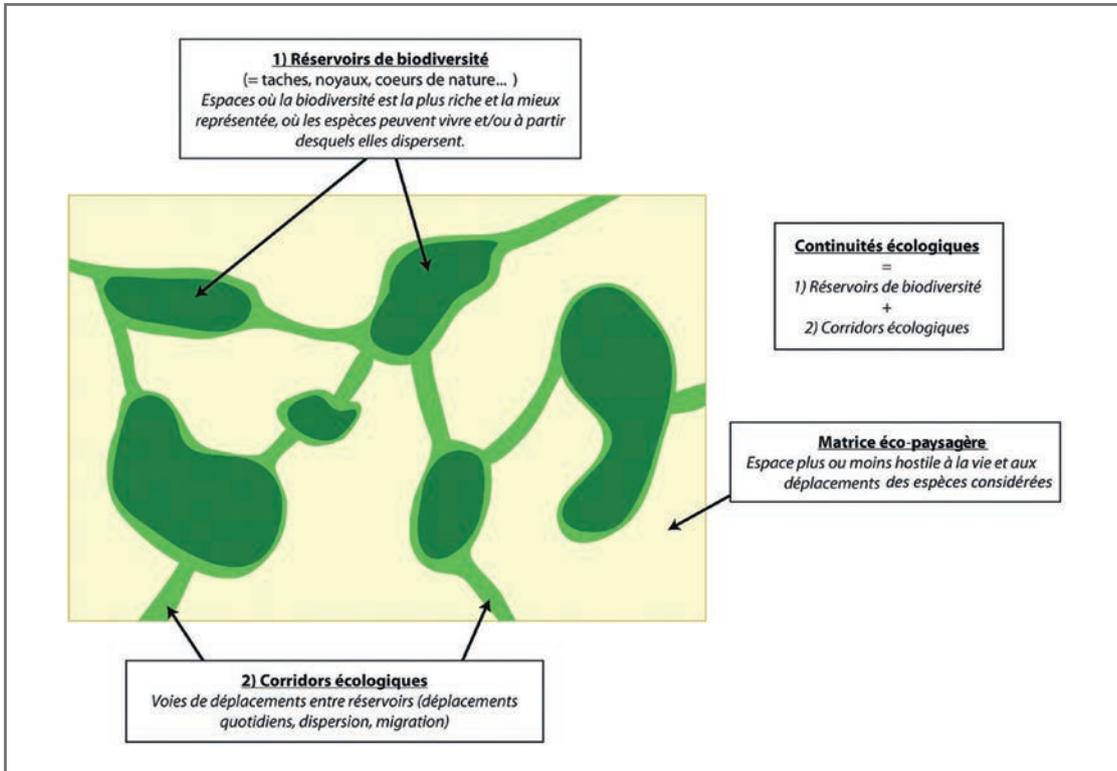
La trame verte et bleue s'appuie sur un réseau de continuités écologiques qui permet le déplacement des êtres vivants terrestres et aquatiques. Ces continuités leur permettent ainsi d'assurer leur cycle de vie*.

Les continuités écologiques comprennent deux types d'éléments : des « réservoirs de biodiversité » et des « corridors écologiques » (articles L.371-1 et R.371-19 du Code de l'environnement*).

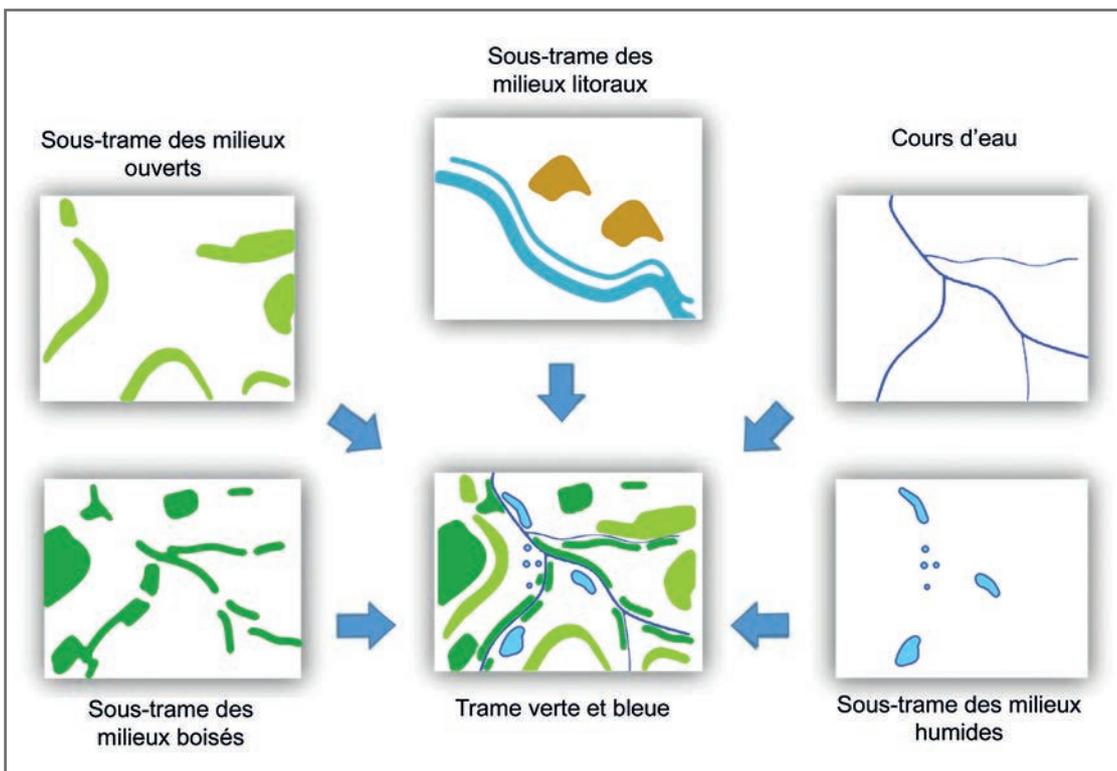
• **Les réservoirs de biodiversité** (❶ page ci-contre) sont des espaces dans lesquels la biodiversité, rare ou commune, menacée ou non, est la plus riche ou la mieux représentée, où les espèces peuvent effectuer tout ou partie de leur cycle de vie (alimentation, reproduction, repos) et où les habitats naturels peuvent assurer leur fonctionnement, en ayant notamment une taille suffisante. Ce sont des espaces pouvant abriter des noyaux de populations d'espèces à partir desquels les individus se dispersent, ou des espaces qui sont susceptibles d'accueillir de nouvelles populations d'espèces.

• **Les corridors écologiques** (❷ page ci-contre) assurent des connexions entre les réservoirs de biodiversité, offrant aux espèces des conditions favorables à leurs déplacements et à l'accomplissement de leur cycle de vie. Les corridors écologiques peuvent être linéaires (haie, surface linéaire...), discontinus (structures en pas japonais, espaces relais, îlots refuges...) ou paysagers (matrice de structures variées).

La trame verte et bleue peut être décomposée en sous-trames* correspondant à des continuités écologiques identifiées pour différents types de milieux (❸ page ci-contre). Le Code de l'environnement* définit les différentes sous-trames auxquelles peuvent être rattachés les réservoirs de biodiversité et les corridors écologiques : les milieux boisés, les milieux ouverts, les milieux humides, les cours d'eau et, le cas échéant, les milieux littoraux (art. R371-27 du Code de l'environnement). C'est ainsi la compilation de l'ensemble de ces sous-trames qui constitue la TVB.



❶ Schéma théorique expliquant les corridors, les réservoirs de biodiversité et les continuités écologiques.
 Source : UMS PatriNat, <https://inpn.mnhn.fr/programme/trame-verte-et-bleue/presentation>



❷ Les cinq sous-trames* nationales. Source : UMS PatriNat.

Pour mener à bien cette politique, l'État s'appuie sur un document-cadre, les *Orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques* (ONTVB), adopté par le décret du 20 janvier 2014 et révisé par le décret du 19 décembre 2019, dont l'objectif premier est de permettre une mise en œuvre d'une TVB cohérente sur l'ensemble du territoire, par une approche s'effectuant à différentes échelles d'actions :

- à l'échelle nationale. Les ONTVB identifient les enjeux nationaux et transfrontaliers et précisent le cadre retenu pour identifier les continuités à l'échelle régionale ;
- à l'échelle régionale (selon l'ancien découpage administratif). La TVB a été déclinée à une échelle plus fine à travers les schémas régionaux de cohérence écologique (SRCE). Le SRCE est un document-cadre élaboré dans chaque région et qui comporte, entre autres, une présentation des enjeux régionaux en matière de continuités écologiques, une cartographie des continuités écologiques régionales (la trame verte et bleue* régionale à l'échelle 1/100 000^e) et le plan d'action stratégique pour leur préservation ou leur remise en bon état. Le contexte réglementaire concernant la mise en œuvre de la trame verte et bleue a toutefois évolué suite à la loi du 7 août 2015, portant nouvelle organisation territoriale de la République (dite « loi NOTRe »).

Celle-ci a doté la Région d'un document prescriptif de planification : le schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET) dans lequel doit être intégré le SRCE. Les SRADDET ont vocation à remplacer les SRCE qui deviendront caducs une fois les SRADDET adoptés (sauf pour la région Île-de-France) ;

- à l'échelle plus locale, les documents de planification (SCoT, PLU(i) et cartes communales...) et les projets de l'État, des collectivités territoriales et de leurs groupements, notamment **les infrastructures**, doivent alors prendre en compte le SRCE de leur région et intégrer sur leur propre territoire ou à l'échelle du projet, l'objectif de maintien et de restauration des continuités écologiques.

Les ONTVB s'imposent aux documents de planification et projets relevant du niveau national, notamment aux grandes infrastructures linéaires de transport de l'État et de ses établissements publics, dans un rapport de compatibilité (article L. 371-2 du Code de l'environnement*^e). Ainsi, les enjeux de cohérence nationale des ONTVB (listes d'espèces/habitats, espaces protégés et continuités écologiques d'importance nationale) sont à intégrer dans l'application de la séquence « éviter, réduire, compenser »* de l'évaluation environnementale des documents et dans l'étude d'impact des projets relevant du niveau national.

Une réalité écologique indispensable à la conservation des espèces

Les continuités écologiques peuvent être définies selon plusieurs échelles de perception dont les contours sont globalement déterminés en fonction de leur rôle pour le maintien des espèces sur un territoire (possibilité d'accomplir leur cycle biologique) et pour le maintien des échanges entre les populations d'espèces (dispersion).

Dans chacun des cas, pour que les continuités écologiques puissent jouer leur rôle, il est nécessaire qu'elles soient fonctionnelles, c'est-à-dire qu'elles permettent, grâce à un nombre suffisant d'habitats

favorables et à une organisation propice de ces derniers dans l'espace, **le déplacement** des espèces **en toute sécurité**. Malheureusement, dans bon nombre de cas, au cours de leurs déplacements, les espèces traversent les infrastructures qui peuvent alors devenir des puits de mortalité pour la population. Il faut également indiquer qu'un milieu constitutif d'une continuité peut s'avérer être un obstacle* pour des espèces d'autres milieux (exemple : un corridor forestier peut être un obstacle* pour certaines espèces d'orthoptères* de milieux ouverts).

Les continuités écologiques sont les supports des échanges nécessaires à l'accomplissement du cycle biologique des espèces

Pour qu'une espèce puisse se maintenir sur un territoire défini, elle a besoin d'espaces vitaux dans lesquels elle va pouvoir se nourrir, se reproduire et se réfugier. L'espèce doit ainsi pouvoir se déplacer entre ces espaces pour répondre à ses besoins. Si ces déplacements peuvent être catégorisés, ils sont toutefois très variables en fonction de l'espèce, de la saison, des milieux...

Les continuités écologiques comme support des déplacements pour la recherche de nourriture

La recherche d'eau et de nourriture est une des causes principales de déplacement des espèces. Les besoins variant d'une espèce à l'autre, les choix d'habitats sont très différents et les distances entre les diverses ressources, très variables en fonction des espèces, de la disponibilité alimentaire...

Il est estimé que les distances de déplacement sont en moyenne quatre fois plus élevées pour les carnivores que pour les autres espèces. Généralement, les distances de déplacements liés à la recherche d'eau et de nourriture restent toutefois assez limitées.



Le chat forestier

En fonction de la disponibilité alimentaire (campagnols) dans les milieux, un chat forestier est susceptible de rejoindre et d'exploiter de manière plus ou moins soutenue différents milieux (forêt, prairie...) au cours de différentes périodes (saisons, années).



Chat forestier. Source : François Nowicki.



La loutre d'Europe

Le domaine vital des mâles adultes peut atteindre 20 à 50 km de linéaire de rivière. Celui des femelles n'excède guère 5 à 20 km, en fonction de la taille des cours d'eau et de leur potentiel alimentaire. Il semblerait que plus le cours d'eau est étroit, plus la longueur du domaine vital soit importante, car la loutre a besoin de parcourir plus de distance, afin de couvrir une surface suffisante pour assouvir ses besoins trophiques*.

Le sanglier

Entre ses zones refuges (milieu boisé fermé) et ses zones de gagnage (cultures, prairies...), le sanglier peut parcourir plus de 10 km.

Les continuités écologiques comme support des déplacements pour la recherche de partenaires sexuels et de lieux de reproduction

La reproduction est un besoin fondamental partagé par toutes les espèces vivantes. Toute espèce doit posséder un système de reproduction efficace, sans quoi elle serait menacée d'extinction. La reproduction peut être couplée avec des déplacements dans l'espace pour que les partenaires se rencontrent et rejoignent un habitat propice à la reproduction.



Le cerf

Il parcourt jusqu'à 15 km pour rejoindre les biches sur les places de brame*.

Le reste du temps, les deux sexes utilisent différemment le milieu et occupent des territoires de tailles différentes.



Cerf élaphe. Source : François Nowicki.



Le crapaud commun

En période de migration* nuptiale, le crapaud commun peut parcourir jusqu'à 3 km entre son milieu de vie (forêt) et son site de reproduction (étang, mare...).



Crapaud commun. Source : François Nowicki.

Les continuités écologiques comme support des déplacements pour rejoindre des zones refuges

Au cours de la journée ou en fonction des saisons, les espèces ont besoin de trouver des zones refuges où elles peuvent se reposer et se cacher de leurs prédateurs.

Si certaines espèces retrouvent chaque jour le même gîte (ex. : le blaireau), pour de nombreuses autres, le lieu de résidence est avant tout un espace de vie où elles s'abritent plutôt qu'un emplacement identique et permanent qu'elles rejoignent chaque jour après leurs activités. Le chevreuil est, par exemple, le plus souvent nomade sur son territoire et cherche régulièrement un nouveau lieu pour s'abriter ou se mettre à l'abri des prédateurs. Un territoire peut ainsi comporter plusieurs zones refuges bien identifiées que l'espèce est susceptible d'utiliser au gré de ses déplacements.

Certaines espèces utilisent un gîte fixe une partie de la journée, toute l'année ou au cours d'une période plus ou moins réduite de l'année. Beaucoup d'espèces occupent ainsi un endroit bien spécifique pour mettre bas et élever leur progéniture, de même pour des espèces qui hibernent. Parfois, des déplacements très importants sont effectués pour rejoindre ces différents lieux. C'est le cas notamment des espèces migratrices, comme certaines chauves-souris.



Le blaireau

Espèce essentiellement nocturne, le blaireau vit la journée dans un terrier qu'il quitte chaque jour au crépuscule pour aller s'alimenter et qu'il rejoint avant le lever du jour (déplacement quotidien d'environ 2 km). Le terrier aura le plus souvent été creusé et entretenu par ses soins à proximité d'eau et de zones d'alimentation.



Famille de blaireaux. Source : François Nowicki.

Les continuités écologiques sont le support des échanges nécessaires entre les populations (dispersion)

Les continuités écologiques sont également le support des échanges entre les différentes populations d'une même espèce. Ces échanges sont nécessaires pour assurer le bon état de conservation des espèces, en maintenant la diversité génétique, pour réduire les risques liés à la consanguinité, par exemple.

Les échanges entre différentes populations ou métapopulations* peuvent se faire grâce au mécanisme de dispersion. Ce terme désigne de manière générale tous les processus par lesquels des êtres vivants se séparent géographiquement d'une population d'origine et colonisent (ou recolonisent) un territoire. Il est ainsi fortement corrélé à la reproduction. La dispersion peut s'effectuer après la naissance et avant la première reproduction ou entre deux événements de reproduction.

La dispersion se décompose en trois étapes : d'abord l'émigration, lorsque l'individu quitte son habitat d'origine, puis le transfert et enfin, l'immigration,

l'installation dans le nouvel habitat. Elle permet aux espèces de coloniser ou de recoloniser des milieux favorables à leur développement, mais elle a un coût en termes de temps, d'énergie, de risques... Les capacités de dispersion des espèces ont une grande importance pour la diversité génétique, la survie des populations, l'adaptation et la résilience* écologique.



► Les spécialistes estiment que la distance maximale de dispersion du **coléoptère osmoderme** (pique-prune*) est de quelques centaines de mètres (OGE, 2007).

► À la différence du lynx qui colonise l'espace de proche en proche, au contact des territoires déjà occupés, **le loup** a tendance à coloniser de nouveaux territoires par sauts de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de kilomètres de distance. Si les dispersions s'inscrivent souvent dans un rayon inférieur à 150 km, les maximales connues ont été réalisées sur des distances de 1 000 km à 1 500 km. (Vignou, 2017).

IDENTIFICATION DES COMPOSANTES DES CONTINUITÉS ÉCOLOGIQUES

Identification des réservoirs de biodiversité*

Les méthodes d'identification des réservoirs de biodiversité sont nombreuses et souvent complémentaires. De façon synthétique, trois approches peuvent être utilisées aux différentes échelles de travail, de façon indépendante ou cumulative, en fonction de la précision des données déjà connues ou recensées.

Intégration des périmètres d'alerte existants

La première étape consiste à intégrer nécessairement les espaces bénéficiant d'une protection réglementaire (réserve naturelle*, arrêté de protection de biotope...). Il est également recommandé d'y adjoindre les cours d'eau et les zones humides d'intérêt environnemental particulier. Enfin, en fonction de l'intérêt que pourra apporter leur contribution, certains périmètres (ZNIEFF, site Natura 2000*, ENS...) qui traduisent une richesse biologique particulière, y seront associés.

L'approche centrée espèce ou multi-espèces

Il s'agit d'ajouter à l'analyse précédente les données (hors périmètre d'alerte) de localisation des espèces patrimoniales ou non (biodiversité ordinaire) et sensibles à la fragmentation. Celles-ci sont issues de la bibliographie ou d'études de terrain, engagées notamment dans le cadre des dossiers préalables aux projets d'infrastructure. Il est ainsi possible de définir d'éventuels réservoirs de biodiversité complémentaires liés à la présence de ces espèces.

Le contour de ces réservoirs doit correspondre à une unité écologique cohérente où la présence des différents habitats de vie de ces espèces (zone refuge, zone d'alimentation...) est une condition indispensable à leur présence. Pour identifier ces réservoirs, l'analyse de l'occupation du sol est donc une approche complémentaire aux données de présence d'une ou des espèces, qui permet de fait de s'assurer de la présence des milieux recherchés par celles-ci.

Dans le cadre d'un projet d'infrastructure, cette approche par espèce n'est bien souvent envisageable que dans des cas bien particuliers, à échelle réduite, liés à la présence d'une ou de quelques espèces patrimoniales à forts enjeux et pour lesquelles une attention particulière s'avère nécessaire.

Dans un cadre plus général, la multiplication du nombre d'espèces susceptibles de coexister dans un paysage traversé par une infrastructure peut rendre une approche par espèce très complexe. Il est possible dans ce cas de conduire une approche plus intégratrice, soit :

- en ayant une approche par espèce, mais en s'attachant aux habitats de vie d'une ou de quelques espèces dites « parapluie » ou « clé de voûte ».

Une espèce parapluie est une espèce dont les besoins en termes d'habitats et d'étendue du territoire sont tels que sa sauvegarde permet de conserver également un cortège d'autres espèces qui cohabitent dans le même écosystème, mais n'ayant pas autant d'exigences, notamment en termes d'espace. Ainsi la protection des habitats permettant le maintien d'espèces cibles exigeantes permettra, a priori, de sauvegarder également les espèces moins exigeantes.



Exemple : le taupin violacé (*Limoniscus violaceus*) est une espèce saproxylique* discrète inféodée aux cavités basses des feuillus. Sa présence s'accompagne d'une biodiversité remarquable, caractéristique des vieilles forêts européennes (diversité d'espèces, espèces remarquables).

Une espèce dite « clé de voûte » est quant à elle une espèce dont la disparition compromettrait la structure et le fonctionnement d'un écosystème. Elle est caractérisée par la qualité, le nombre et l'importance des liens qu'elle entretient avec son habitat et les autres espèces. En ce sens, une espèce clé de voûte est nécessaire à l'existence et au maintien d'autres espèces.



Exemple : les pics, dont le pic noir, sont des espèces qui jouent un rôle important dans la création et la mise à disposition de cavités pour les autres espèces cavernicoles incapables de creuser leur propre cavité (chouettes, chiroptères*...). Leur régression peut ainsi entraîner, à terme, la disparition des autres espèces utilisant les cavités des pics.



Pic noir. Source : François Nowicki.

- en ayant une approche qui s'intéresse aux milieux de vie d'une espèce ou d'un cortège d'espèces ayant les mêmes exigences écologiques, indicatrices de chaque milieu ou sous-trame* (espèce indicatrice des milieux forestiers, des milieux ouverts...). Une fois ces espèces définies pour chaque sous-trame, l'objectif est d'établir, sur la base de l'occupation du sol, une carte des milieux favorables à ces espèces (ex. : les ongulés, espèces indicatrices de la sous-trame forestière).

L'approche paysagère

Si certains périmètres ou territoires d'espèces patrimoniales sont généralement considérés comme réservoirs de biodiversité*, il est également possible d'intégrer les espaces naturels pouvant jouer un rôle du fait de leur forte potentialité, de leur richesse en espèces ordinaires et/ou patrimoniales, de l'absence d'éléments fragmentant, de leur degré de naturalité, de leur surface, de leur homogénéité (ensemble fonctionnel sans discontinuité), de leur compacité ou de leur perméabilité. C'est par exemple souvent le cas des vastes massifs forestiers. Il s'agit ici d'avoir une approche un peu plus globale d'analyse du territoire, qui soit moins centrée sur les habitats d'une espèce ou d'un cortège d'espèces spécifiques.

..... Identification des corridors écologiques

À partir des réservoirs de biodiversité, l'objectif est d'identifier, par le biais d'analyses spatiales, des continuités physiques entre ces réservoirs, susceptibles d'être utilisées par les espèces lors de leurs déplacements, notamment pour se disperser.

L'identification des corridors écologiques est réalisée en fonction de nombreux facteurs dont l'échelle de travail, la taille de l'aire d'étude, les données disponibles... La définition des continuités écologiques fait ainsi généralement appel à différentes approches susceptibles de se combiner. Ces méthodes passent souvent par une identification préalable des continuités potentielles,

puis par une analyse des éléments de fragmentation, et enfin par une **validation basée sur une expertise naturaliste** ou une **phase de terrain**.

L'approche occupation du sol ou milieux

C'est la méthode la plus fréquemment utilisée pour caractériser la TVB à l'échelle régionale. Il s'agit notamment de la méthode proposée dans le cadre des orientations nationales pour la préservation et la restauration des continuités écologiques.

Cette approche s'appuie sur trois méthodes possibles d'analyse spatiale :

■ L'interprétation visuelle

À partir de photographies aériennes ou de cartes d'occupation du sol, l'analyse visuelle permet d'identifier les corridors potentiellement utilisés par les espèces depuis les réservoirs de biodiversité (en différenciant si nécessaire chaque sous-trame ou type de milieu). Les tracés sont choisis selon le chemin le plus direct entre les réservoirs de biodiversité*, en intégrant les milieux les plus favorables aux déplacements, les milieux relais, les obstacles*...

Cette méthode est d'autant plus efficace que la zone d'étude est bien connue et que la surface à traiter reste restreinte.

■ L'analyse des distances entre les réservoirs de biodiversité

À partir de la distance susceptible d'être parcourue par l'espèce (cible, parapluie, indicatrice ou groupe d'espèces) en dehors de son habitat refuge, cette méthode permet, sous SIG, indépendamment de la qualité des habitats extérieurs, de matérialiser sous forme de zones tampons autour de chaque réservoir, l'espace susceptible d'être emprunté par l'espèce pour se disperser. Cette manipulation fait ainsi apparaître des espaces de liaison entre les taches qui peuvent être considérés comme des corridors potentiels (cf. exemple de la méthode de dilatation-érosion ②). Cependant, cette méthode ne permet pas de prendre en compte la nature des milieux ni les obstacles* présents. Certaines connexions peuvent être plus longues mais plus efficaces, lorsque la nature des milieux est plus perméable.

■ Analyse de la perméabilité des milieux aux déplacements de groupes d'espèces cibles et calcul de continuum pour chaque type de milieu (sous-trame*)

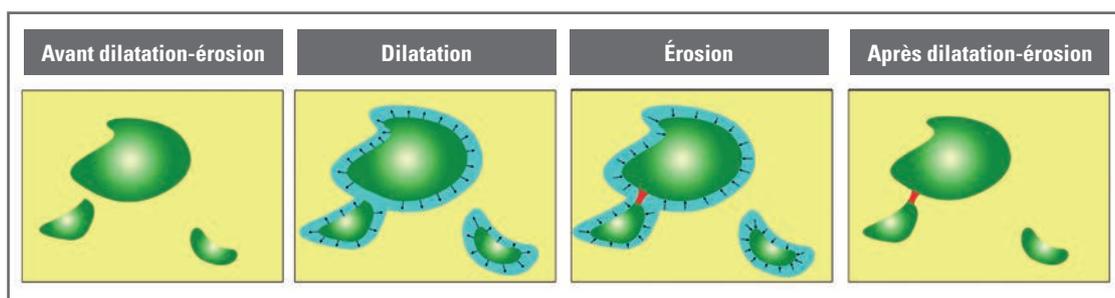
Cette analyse repose sur une méthode SIG qui modélise le déplacement d'espèces indicatrices d'un type de milieu au sein des différentes catégories d'occupation du sol. Il s'agirait par exemple du déplacement d'une espèce représentative du milieu forestier au sein des prairies, cultures...

La modélisation est basée sur un algorithme de calcul du coût de déplacement qui tient compte de la perméabilité de chaque milieu pour les espèces cibles et peut intégrer les obstacles* potentiels. Chaque catégorie d'occupation du sol est ainsi affectée d'une valeur de résistance proportionnelle à l'effort que l'animal est prêt à consentir pour coloniser ou se déplacer dans un milieu différent de son espace vital (il est généralement établi que l'espèce n'a pas de difficulté à se déplacer dans son milieu de référence).

Cette méthode permet, *in fine*, de modéliser les sous-trames (forestière, prairiale...) correspondant à l'aire potentielle de déplacement des espèces ciblées représentatives de ces sous-trames.

Les différentes cartes synthétiques par sous-trame sont compilées afin de mettre en évidence les grandes zones fonctionnelles du territoire.

Il existe différents logiciels utilisant cette méthode d'analyse. On peut citer : Graphab, Circuit scape, Metaconnect, Least-cost path analysis.



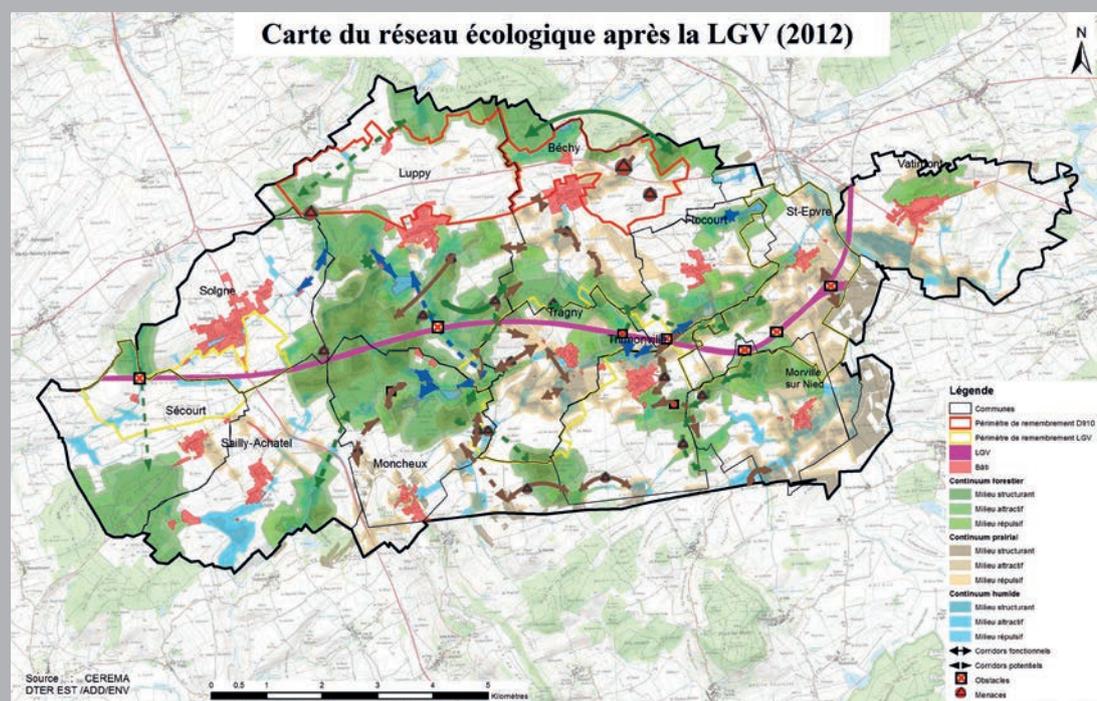
② Principe de la méthode de dilatation-érosion. Source : UMR-Tetis – Inrae.



Étude de l'impact de la LGV Est sur le fonctionnement des réseaux écologiques – Analyse sur le territoire de 12 communes

La définition des continuités écologiques a été effectuée en utilisant un logiciel de modélisation « coût-déplacement » pour définir chaque sous-trame* sur la base du déplacement virtuel d'espèces indicatrices de chaque type de milieu. Pour chaque sous-trame, la zone de propagation obtenue (milieu structurant, milieu attractif) par la modélisation a été considérée comme le continuum théorique de l'habitat du groupe écologique étudié.

La compilation des continuums forestier, humide et prairial a ainsi permis de définir les continuités écologiques du territoire coupées par l'infrastructure.



Source : Cerema, 2015.

Cas particulier de la trame noire*

La lumière artificielle est susceptible de créer un effet barrière par l'effet répulsif qu'elle constitue pour les espèces lucifuges*. *A contrario*, elle est également susceptible de constituer un piège écologique en attirant d'autres espèces au risque de se faire percuter (c'est par exemple le cas de certaines chauves-souris qui viennent chasser à proximité des lampadaires les insectes qui, eux-mêmes, sont attirés par la lumière). Il s'agit d'un comportement coût-bénéfice : l'opportunité de se nourrir avec le risque d'être victime d'une prédation.

En déplacement, la plupart des chiroptères* évitent les zones éclairées.

Lorsque la politique de la TVB a été mise en place, la problématique de la pollution lumineuse n'était pas jugée prioritaire d'un point de vue politique d'une part, et d'autre part, elle n'était pas développée de manière opérationnelle. Malgré tout, les initiatives se multiplient et le document-cadre adapté des ONTVB (2014) indique la nécessité d'une meilleure efficacité de la prise en compte des enjeux émergents, comme la pollution lumineuse.

Il existe plusieurs manières d'intégrer cette problématique dans une TVB. L'une des possibilités est d'identifier des zones de conflit entre la TVB et la pollution lumineuse (Granier, 2012). Une autre possibilité est d'aller jusqu'à identifier une trame noire*, c'est-à-dire des continuités écologiques caractérisées par leur obscurité, à préserver ou à restaurer. Ce réseau peut être obtenu à partir d'une trame verte et bleue* déjà caractérisée, à laquelle sont soustraites les zones

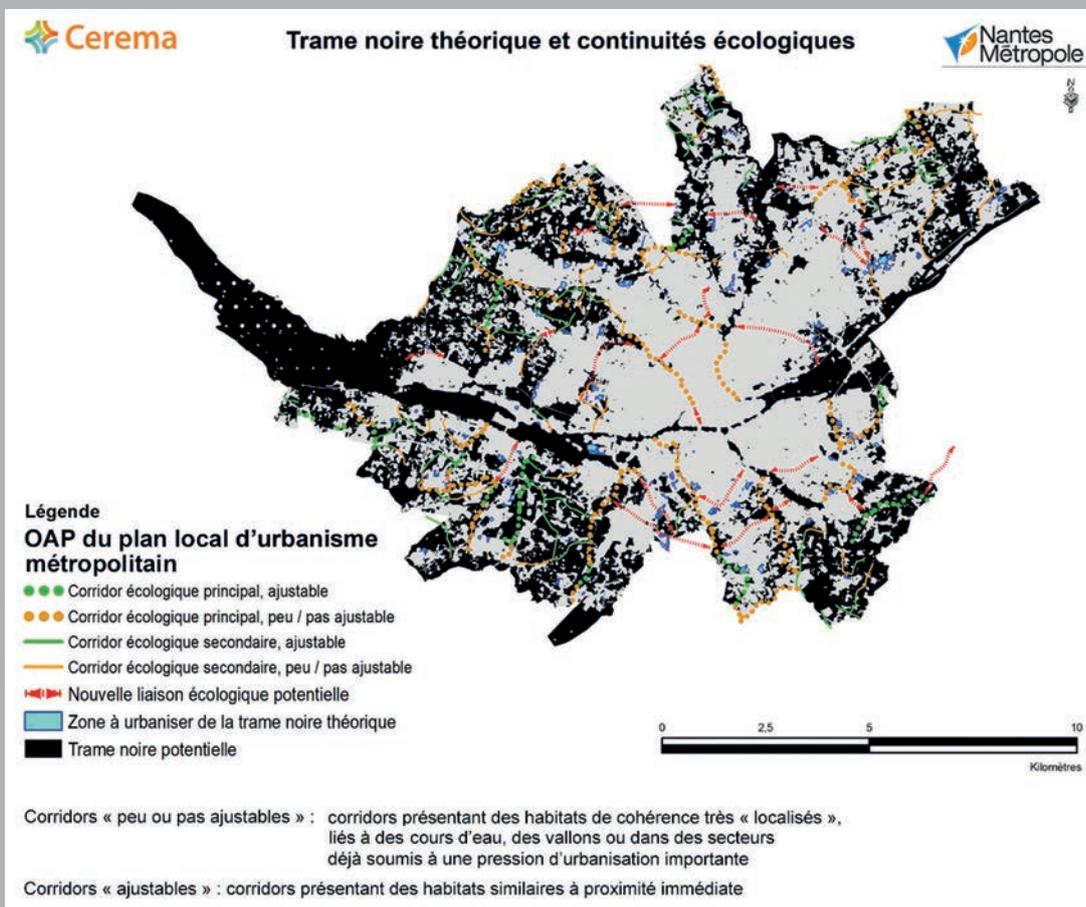
trop lumineuses. Mais il peut aussi être identifié en prenant directement en compte les besoins d'obscurité des espèces nocturnes, lors de l'identification des corridors et des réservoirs. En France, des démarches d'identification de trames noires commencent à émerger ces dernières années (ex : Fiches AUBE (Aménagement, urbanisme, biodiversité, éclairage), Cerema 2020 ; *Trame noire - Méthodes d'élaboration et outils pour sa mise en œuvre*, OFB 2021).



Identification de la trame noire de la métropole de Nantes

Cette carte représente la trame noire théorique calculée à l'aide d'un potentiel de pollution lumineuse en fonction de la classification de la luminance zénithale (lumière renvoyée vers le ciel issue du traitement de l'orthophotographie* nocturne). Y sont associés :

- la sélection des zones à urbanisation future qui se trouvent sur la trame noire théorique et dont l'occupation du sol peut être favorable pour les espèces ;
- les corridors écologiques ajustables et peu ou pas ajustables de l'orientation d'aménagement et de programmation (OAP) de la TVB ;
- les continuités écologiques potentielles de l'OAP de la TVB.



Source : Cerema.

Pourquoi faut-il tenir compte des continuités écologiques dans le cadre d'un projet d'infrastructure linéaire de transport ?

Une obligation réglementaire

Sur les infrastructures en projet

- En application de l'article L371-2 et 3 du Code de l'environnement*, « les documents de planification et projets relevant du niveau national, et notamment les grandes infrastructures linéaires de l'État et de ses établissements publics, doivent être compatibles avec les orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques (ONTVB) et préciser les mesures permettant d'éviter, de réduire et, le cas échéant, de compenser* les atteintes aux continuités écologiques que la mise en œuvre de ces documents de planification et projets, notamment les grandes infrastructures linéaires, sont susceptibles d'entraîner. »
- Les projets d'infrastructure soumis à étude d'impact, en application de l'article L.122-1 et R.122-5-4° du Code de l'environnement doivent décrire et apprécier de manière appropriée, en fonction de chaque cas particulier, les incidences notables directes et indirectes d'un projet sur la biodiversité*, en accordant une attention particulière aux espèces et aux habitats protégés au titre de la directive 92/43/CEE du 21 mai 1992 et de la directive 2009/147/CE du 30 novembre 2009.
- Les projets publics d'infrastructures (de l'État, des collectivités territoriales et de leurs groupements), qu'ils soient ou non soumis à étude d'impact, en application de l'article L.371-3 du Code de l'environnement, doivent prendre en compte le SRCE ou être compatibles avec le SRADDET s'il existe, et préciser les mesures d'évitement, de réduction et de compensation des atteintes aux continuités écologiques.

Les études environnementales afférentes à un projet doivent conduire à appréhender les effets sur la biodiversité et les continuités écologiques

dès l'amont de la conception du projet et dans toutes les procédures d'instruction, jusqu'à la décision de réaliser ou non le projet.

Sur la base d'un état des lieux des continuités écologiques, les études devront notamment permettre de prendre en compte l'ensemble des effets directs, indirects, induits et cumulés de la création de l'infrastructure. Cette analyse devra alors permettre de définir les mesures nécessaires pour éviter les conséquences dommageables. Les réservoirs de biodiversité et les corridors écologiques doivent ainsi être préservés au maximum par un évitement de choix d'opportunité, géographique ou technique. Si c'est impossible, les mesures de réduction doivent être définies pour assurer la préservation des espaces de fonctionnalité. Si, malgré les mesures d'évitement et de réduction, les réservoirs de biodiversité et les corridors ne sont pas préservés de manière satisfaisante, des mesures de compensation devront être mises en œuvre.

Elles devront respecter les principes de la compensation environnementale, définis à l'article L.163-1 du Code de l'environnement, et être accompagnées de mesures de suivi conformément à l'article R.122-5-9° de ce même code.

L'ensemble des mesures destinées à éviter, réduire et compenser, dit « séquence ERC »*, vise l'absence de perte nette, voire le gain de biodiversité*. Ces mesures doivent ainsi permettre la non-dégradation de la perméabilité globale concernant chaque sous-trame* étudiée à l'échelle du projet.

Enfin, dans le cadre d'un projet neuf, les continuités écologiques sont aussi très souvent analysées à travers la procédure de dérogation espèces protégées prévue par l'article L.411-2 du Code de l'environnement*.

Sur les infrastructures de transport existantes

S'il n'existe pas d'obligation réglementaire générale à la restauration des continuités écologiques interrompues par le passage des anciennes infrastructures, certains travaux d'amélioration du réseau existant peuvent nécessiter, en fonction de leur importance (ex : ajout d'une voie autoroutière), une remise à niveau et de nouvelles mesures de défragmentation à l'image des projets neufs (cf. également fiche 4).

La prise en compte de la trame verte et bleue* doit alors s'appuyer sur une évaluation du niveau de rupture des continuités écologiques, et se baser entre autres sur la répartition des

continuités écologiques et sur les caractéristiques propres à chaque infrastructure ou ouvrage.

En l'absence d'obligation d'amélioration de la transparence écologique liée à des travaux spécifiques, pour les infrastructures linéaires existantes, l'enjeu est de pouvoir prioriser et optimiser un programme de travaux visant à restaurer la perméabilité des infrastructures et ouvrages du réseau, en particulier dans les zones où les enjeux sont les plus importants, que ce soit par des projets dédiés (sous condition d'obtention de financements à cet égard) ou à l'occasion de projets autres, mais donnant l'opportunité d'améliorer les continuités écologiques dégradées ou rompues de longue date.

Une nécessité écologique

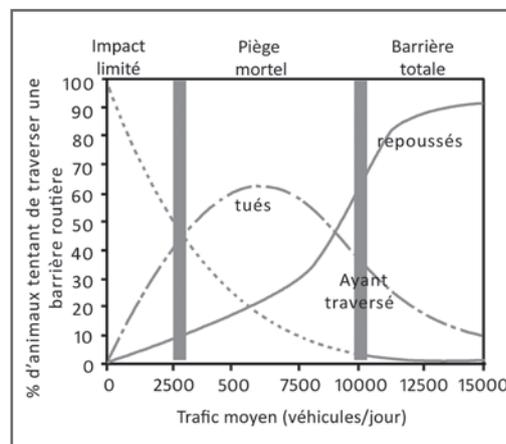
Les infrastructures de transport affectent les milieux et leurs composantes biologiques selon de nombreux processus qui s'enchaînent dans l'espace et dans le temps. La coupure des continuités écologiques par une route ou une ligne ferroviaire est certainement l'une des principales perturbations, qui se traduit à la fois par la fragmentation des espaces et par la création d'un risque de collisions pour toutes les espèces qui souhaiteraient continuer à franchir l'infrastructure.

Fragmentation

La fragmentation est un processus dynamique de réduction de la superficie d'un habitat et sa séparation en plusieurs fragments. Pour les infrastructures de transport, elle est induite par l'effet de coupure créé par la destruction des habitats au droit des emprises (défrichement, terrassement), par la présence de la barrière physique créée par l'infrastructure elle-même (chaussée, plateforme ferroviaire, installation électrique ou de signalisation, terrassement)

dont l'effet est renforcé par la présence d'éventuelles clôtures et enfin par les dérangements du trafic, du bruit, de l'éclairage, des vibrations...

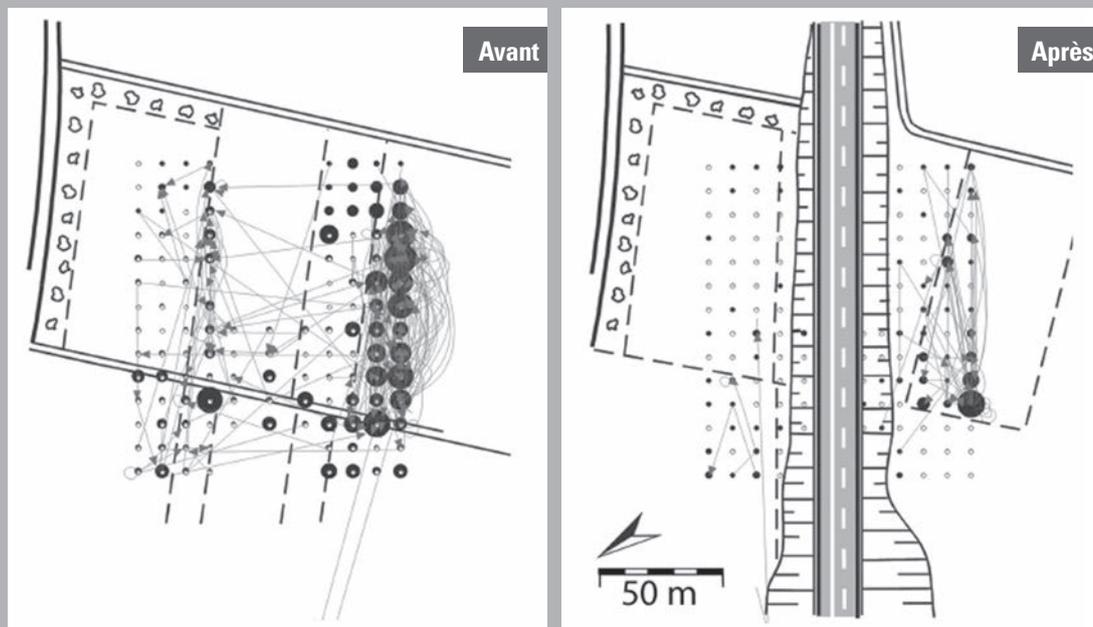
Cette barrière a pour principale conséquence d'interrompre les continuités écologiques et tous les processus écologiques inhérents à ces continuités.



Effet de fragmentation des infrastructures routières en fonction du trafic moyen journalier.
 Source : Rapport COST 341 adapté de Seiler, 2003.



Effet d'une route à trois voies sur le mouvement et l'abondance d'une espèce de carabe*



Source : *Hand book of road Ecology, adapté de Pfister et al. (1997).*

Avant la construction, de nombreux pièges ont permis de capturer plus de 20 mâles, qui ont effectué de nombreuses traversées du lieu d'implantation de la future infrastructure.

Après la construction, le taux de capture et les mouvements étaient significativement plus faibles.

L'importance de l'effet barrière reste toutefois très variable et dépend de plusieurs facteurs :

- **les caractéristiques de l'infrastructure** : plus la voie sera large, plus l'effet de coupure sera important. Le profil en long (déblai/remblai) joue également un rôle, en particulier vis-à-vis de la faune volante ;
- **le revêtement** : la simple présence d'une chaussée revêtue d'un enrobé bitumineux ou le ballast des voies ferroviaires peut constituer une barrière physique pour certaines espèces ;
- **la présence d'équipements** : glissières en béton adhérent (GBA), clôtures, caniveaux en béton en « U », fossés revêtus, rails...

Pour les clôtures, l'effet de coupure sera notamment fonction de sa qualité technique (résistance au fouissage*, entretien pour garantir sa continuité et son accessibilité), de sa hauteur, de la taille des mailles (une clôture à grandes mailles n'aura que peu d'effets sur les espèces de la petite faune) et

de la qualité des raccords aux dispositifs connexes (ouvrants, grilles, ouvrages inférieurs ou supérieurs...). La présence de GBA sur des infrastructures non clôturées, utilisées au centre des voies pour séparer les chaussées, ou sur un seul côté des voies, est particulièrement impactante, car ces dispositifs laissent le libre accès à tout ou partie de la chaussée à la faune, tout en empêchant la franchissabilité totale des voies. Elles constituent ainsi pour certaines espèces une barrière physique qui a pour conséquence de maintenir les individus sur les chaussées en augmentant le risque de collision. Dans les sections clôturées à grandes mailles, les mustélidés* qui entrent dans l'emprise s'exposent aussi à ce risque (cf. fiche 21) ;

- **le trafic** : l'effet de fragmentation augmente avec le nombre de véhicules ;
- **les milieux traversés** : l'impact de la coupure varie en fonction du type de milieu (ouvert, fermé) et de leur qualité.

Les effets de la fragmentation sur les continuités écologiques sont divers et peuvent notamment conduire à :

- la suppression des possibilités d'accès à des habitats initialement utilisés ;
- la modification des conditions d'habitats ;
- la suppression des possibilités de se disperser ;
- un frein à l'adaptation de la répartition des espèces face au changement climatique.

■ La suppression des accès aux habitats d'espèces

La barrière créée par l'infrastructure peut séparer les différents habitats des espèces nécessaires à l'accomplissement de leurs cycles biologiques (suppression des accès à leurs sites d'alimentation, à leurs milieux de reproduction...).

Le niveau des impacts sera alors très variable en fonction de la présence, de la taille et de l'accessibilité ou non d'habitats de substitution :

- si des habitats de substitution sont proches et accessibles l'impact restera probablement faible et l'espèce pourra se maintenir ;
- si des habitats de substitution sont éloignés mais encore accessibles, l'espèce pourra se maintenir en effectuant des déplacements plus longs.

Selon les espèces, l'augmentation des distances de déplacement pourra s'accompagner d'effets négatifs sur le bilan énergétique et sur la dynamique des populations ;

- si des habitats de substitution ne sont pas disponibles, si la qualité n'est pas suffisante ou si la taille est trop petite, l'espèce devra quitter le territoire ou déclinera.

Notons également que les perturbations d'une espèce peuvent aussi affecter favorablement ou non toutes les autres espèces qui interagissent avec elle. Il est pour cela nécessaire d'avoir une approche par « chaîne » et non seulement par espèce.

■ La modification des conditions d'habitat

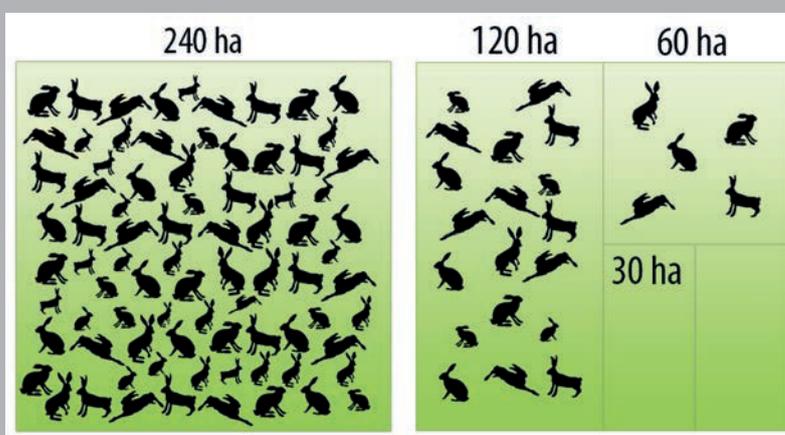
La présence d'une infrastructure peut conduire à modifier les conditions écologiques des milieux traversés et induire des perturbations du fonctionnement initial des milieux et de leur rôle pour les espèces. Ces perturbations peuvent être liées à :

- l'ouverture des milieux fermés et la création de lisières. Les conditions écologiques de proximité sont modifiées par rapport à l'habitat initial (ensoleillement, régime des vents, température...).



Effet de la fragmentation des habitats Exemple du lièvre d'Europe du plateau suisse

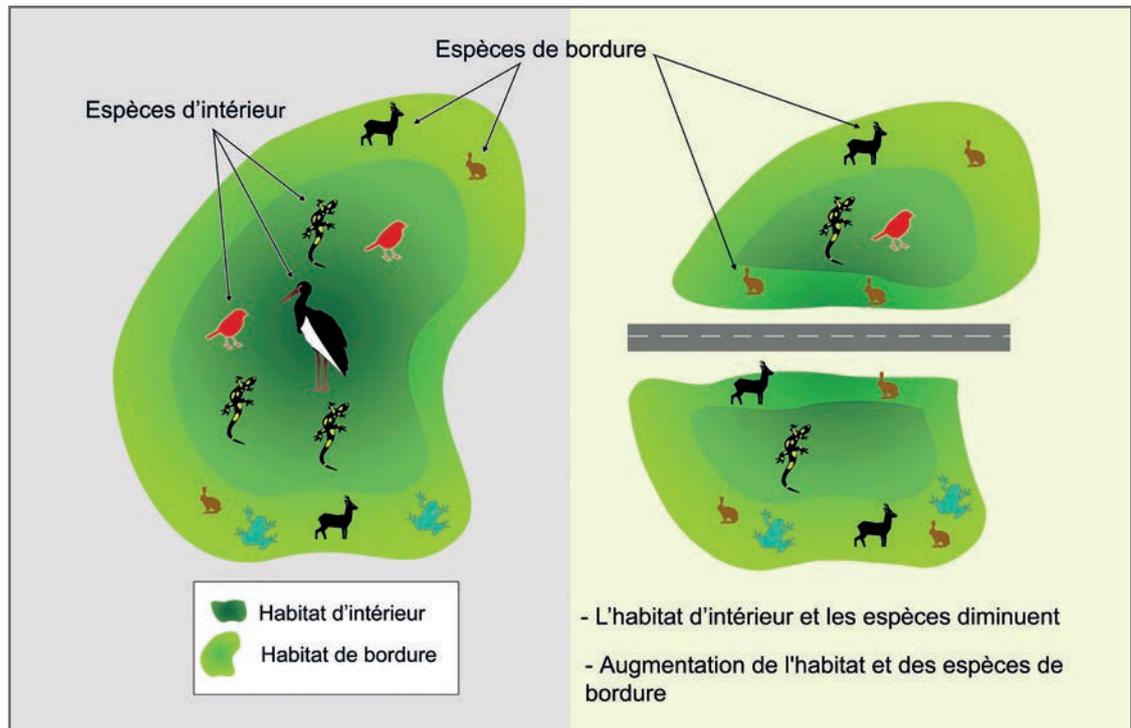
Lorsque la taille de l'habitat se réduit, la densité de lièvres diminue. Seules les surfaces supérieures à 100 ha permettent à la population de lièvres de survivre sans dépendre d'apport d'individus provenant de l'extérieur. En dessous de 30 ha, des surfaces isolées ne permettent plus le maintien d'une population de lièvres.



Source : d'après R. Anderegg, Journée route et faune sauvage organisée par l'Office fédéral des forêts, 1984.

Ces modifications se traduisent souvent par la colonisation de nouvelles espèces inféodées aux lisières, généralement plus dynamiques, au détriment des « espèces d'intérieur » généralement plus spécialistes.

Il en résulte une banalisation du cortège faunistique, même si, localement, le nombre d'espèces présentes peut s'avérer plus élevé (espèces de lisières + espèces forestières peu exigeantes) ;



Impact de la fragmentation d'un milieu boisé du fait de l'effet de lisière.

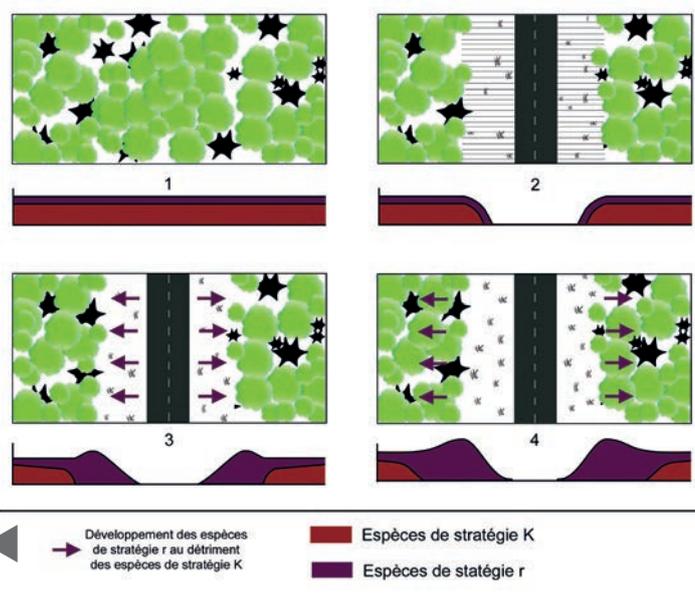


En milieu forestier, la surface d'habitats modifiés par l'infrastructure, par l'effet de tranchée, représente de l'ordre de dix fois la largeur occupée par la voie.

Dans cette zone perturbée, les cortèges faunistiques sont alors modifiés. Les espèces à « stratégie r » (stratégie de reproduction rapide et massive avec le plus souvent un taux de mortalité élevé) vont se développer au détriment des espèces à « stratégie K » (croissance lente, longue durée de vie et faible nombre de jeunes) plus sensibles aux modifications de la qualité des habitats induites par l'infrastructure.

Diminution des superficies utilisables : l'altération qualitative des surfaces résiduelles favorise les espèces « r » au détriment des espèces « K ».

Source : cité par H.J. Mader-Melatt et ministère chargé de l'Environnement, Colloque « Route et faune sauvage » (1982).



- la création de nuisances sonores issues du flux de véhicules : leur intensité varie suivant les caractéristiques du trafic, de la topographie, du milieu traversé... Ces nuisances peuvent alors engendrer des réactions de stress ou simplement la fuite de l'animal loin de la source par peur, ou encore parce que les sources de bruit interfèrent avec sa communication acoustique, par effet de masque ;



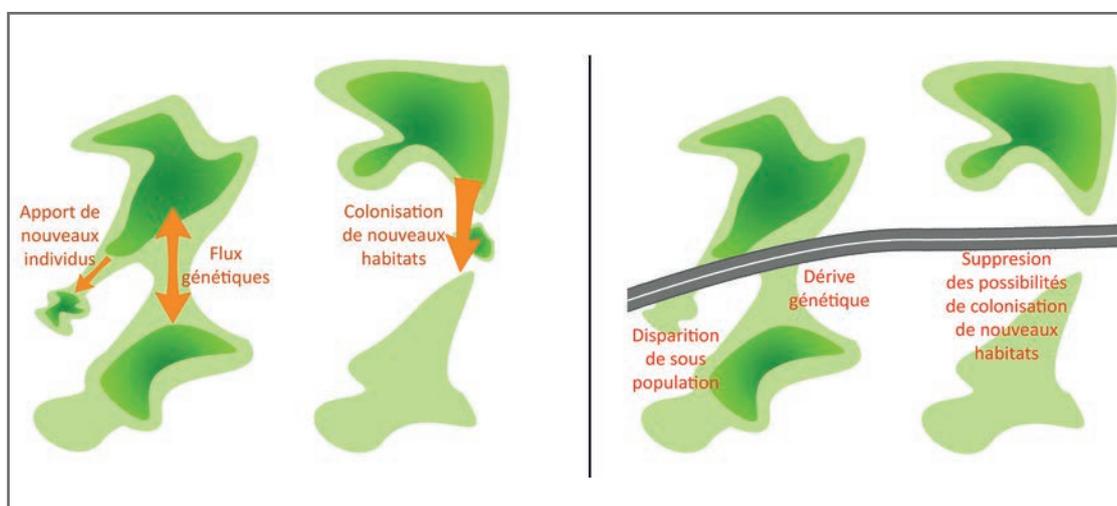
Aux Pays-Bas, la densité d'oiseaux baisse lorsque le bruit du trafic dépasse 50 dBA, alors que les oiseaux des bois sont sensibles aux niveaux de bruit dès 40 dBA. Certaines espèces ont le même taux de reproduction en zones perturbées, mais le taux de survie des jeunes est moins élevé (*Rapport COST 341 - Fragmentation des habitats due aux infrastructures de transport, 2007*).

- la lumière artificielle nocturne : elle joue un rôle de barrière en occasionnant des ruptures du noir pouvant s'avérer infranchissables pour certaines espèces. Les modifications des conditions d'éclairage d'un habitat peuvent également avoir des conséquences sur la reproduction, la désynchronisation des horloges biologiques (le rythme biologique n'est plus en phase avec l'environnement), la relation prédateur/proie ou la pollinisation.

■ La suppression des possibilités de se disperser

En affectant voire en supprimant les possibilités de déplacement des espèces, l'infrastructure limite le processus de dispersion, c'est-à-dire d'émigration d'individus d'une population (le plus souvent des juvéniles) vers une autre et concomitamment l'apport d'individus d'une population depuis une autre (❶ ci-dessous). L'infrastructure peut ainsi interrompre les flux entre les sites favorables d'espèces et empêcher la colonisation de nouveaux habitats. La rupture des continuités écologiques peut alors entraîner une baisse de la diversité génétique des populations par une diminution du taux d'échange de gènes au sein des populations. Elle conduit ainsi à une réduction de la diversité génétique de chacune des populations locales et une plus grande différenciation entre elles (dérive génétique). À terme, la probabilité d'adaptation des populations à de nouvelles conditions environnementales diminue. La réduction de la diversité génétique d'une population augmente également sa consanguinité et donc le risque sanitaire face à une épidémie, pouvant conduire également à son extinction.

La suppression des possibilités de dispersion peut aussi conduire à la disparition de petites populations satellites qui ne doivent leur maintien qu'à l'apport d'individus venant de l'extérieur.



❶ Schéma des impacts d'une infrastructure sur la dispersion des espèces. Source : Cerema.



Génétique du paysage – Structuration spatiale des populations de cerfs autour de Paris : quel est le rôle des infrastructures de transport ?

Vincent Vignon, Office de génie écologique (OGE).

Cette étude a été réalisée sur l'ensemble des populations de cerfs élaphe des forêts d'Île-de-France auxquelles les forêts du département de l'Oise ont été ajoutées (Vignon & Suez, 2017). L'interprétation des données issues de l'analyse génétique a bénéficié d'une connaissance de l'utilisation de l'espace par les cerfs depuis les années 1950 (Vignon, 1999).

Les principaux résultats ont, entre autres, démontré :

- un premier niveau de séparation génétique des populations déterminé par l'effet cumulé des infrastructures : autoroute A10 et LGV Atlantique, autoroute A5 et LGV Paris-Lyon-Méditerranée ou encore de part et d'autre de la Seine, à l'aval de Paris (infrastructures et extensions urbaines) ;
- que les passages pour la faune semblent efficaces. Il apparaît en effet une corrélation entre les niveaux de structuration génétique des populations et l'utilisation ou non des passages, en lien notamment avec la qualité des ouvrages sur les différentes infrastructures.



Structuration génétique des populations de cerfs élaphe autour de Paris (Île-de-France et Oise)

La couleur ambre présente la répartition des populations de cerfs basée sur une modélisation (aires de migrations simulées). Les densités de cerfs/biches sont plus élevées dans les zones sombres.

Forêts :

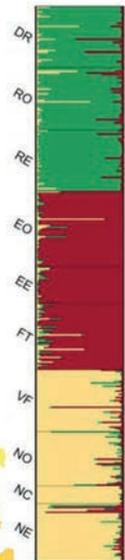
- TE : forêt de Thelle
- NO : forêt de Chantilly
- NC : forêt d'Ermenonville
- NE : forêt de Compiègne
- VF : forêt de Villefermoy
- FT : forêt de Fontainebleau
- EE : forêt de Trois-Pignons
- EO : forêt de Bouville
- DO : forêt de Dourdan
- RE : forêt de Rambouillet « est »
- RO : forêt de Rambouillet « ouest »
- DR : du nord de la forêt de Rambouillet à la forêt de Dreux

Contour du premier niveau de structuration génétique

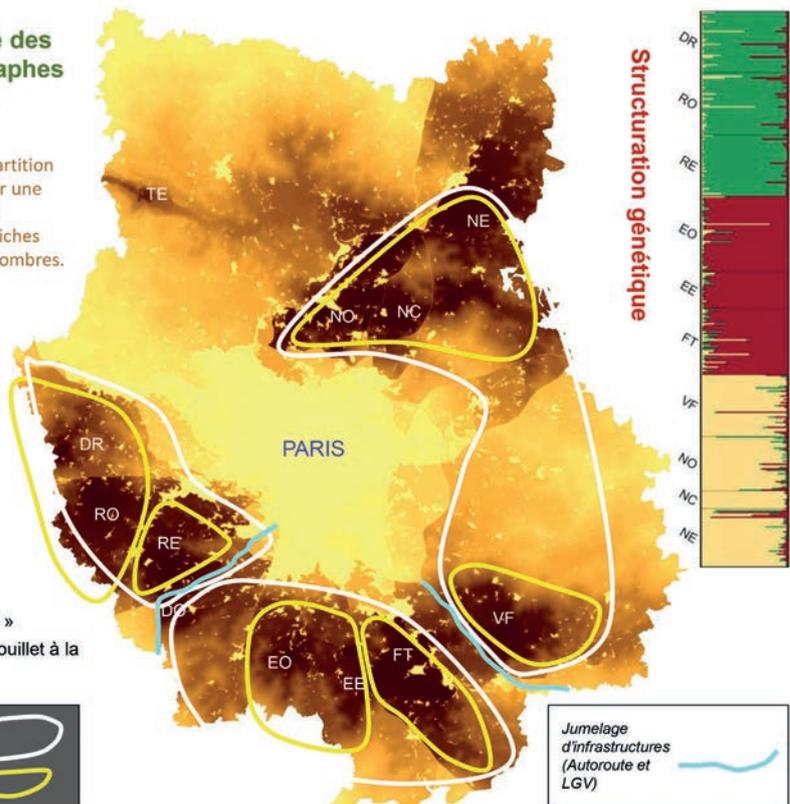
Sous-structuration génétique



Structuration génétique



Jumelage d'infrastructures (Autoroute et LGV)

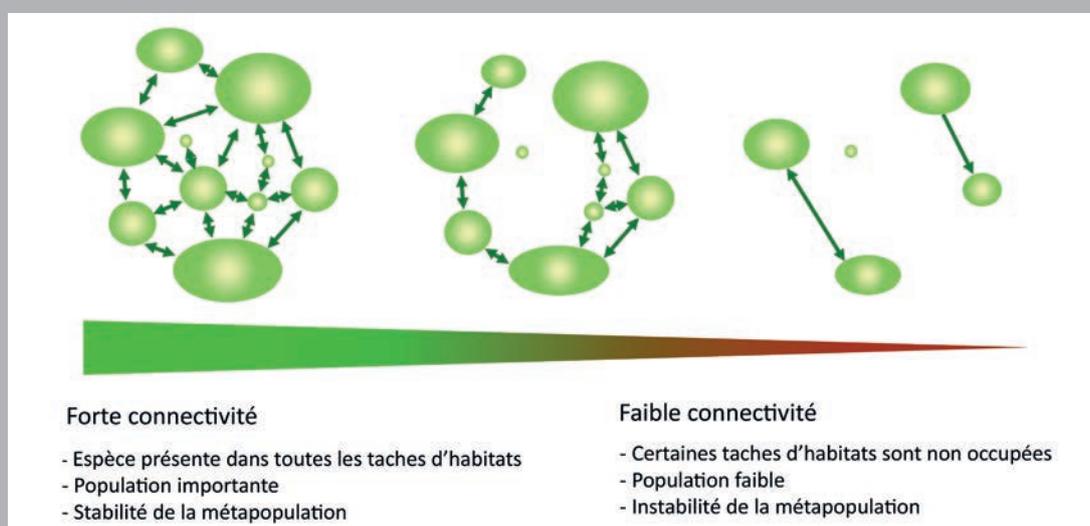




Le fonctionnement en métapopulation*

L'ensemble des populations d'une même espèce, séparées par une barrière spatiale ou géographique, et pour lesquelles il existe des échanges plus ou moins abondants et fréquents d'individus et de gènes constitue une métapopulation.

La survie ou le maintien d'une métapopulation sont dépendants de la qualité des connexions entre chaque population qui la constitue. Ainsi, les continuités écologiques jouent un rôle très important dans la conservation des métapopulations, que ce soit par la qualité et la taille des habitats d'espèces, les réservoirs de biodiversité* ou par la qualité des zones d'échanges et de déplacements des individus, les corridors biologiques. La métapopulation dans son ensemble peut être stable, alors que certaines populations la constituant fluctuent.



Réponse de la biodiversité à l'effet de fragmentation. Source : d'après Pardini et al., 2010.

■ La réduction des capacités d'adaptation des espèces face au changement climatique

Le changement climatique récent (lié aux activités humaines) est un phénomène complexe qui se manifeste par une grande diversité de modifications, dont il est déjà démontré qu'elles ont un impact sur la biodiversité et qu'elles représentent une menace pour la survie de certaines espèces.

En fonction de la sévérité des impacts de ces modifications qui ont lieu à de nombreux niveaux d'organisation, la réponse d'une population ou d'une espèce soumise aux changements est toutefois variable : soit elle **s'adapte** aux nouvelles conditions de son environnement, soit elle **migre** pour retrouver des conditions environnementales similaires à celles auxquelles elle était soumise avant le changement, soit elle ne peut ni s'adapter

ni migrer et dans ce cas, elle **s'éteint**, localement ou globalement.

Face aux variations du climat qui imposent à la faune et à la flore une réorganisation de leurs aires de répartition, le maintien des continuités écologiques permettant aux espèces de se déplacer est indispensable à leur adaptation au changement climatique.

En ce sens, la construction d'une infrastructure, qui constitue un nouvel obstacle* aux déplacements des espèces, représente un frein à l'adaptation des espèces face à ces changements.

L'infrastructure conduit notamment à limiter les capacités de résistance et de résilience* des espèces face aux perturbations. Ce sont notamment les espèces spécialistes et à faibles capacités de mobilité qui seront les plus pénalisées en raison de leur aptitude d'adaptation spatiale limitée.

Les collisions

Le nombre d'infrastructures et notamment des infrastructures de grand gabarit (autoroutes, LGV), n'a cessé d'augmenter depuis les années 60, ce qui implique des milieux de plus en plus fragmentés et isolés. Dans ce contexte, un grand nombre d'animaux, qui sont amenés à franchir toujours plus d'infrastructures pour accomplir leur cycle biologique au sein de leur domaine vital* ou pour se disperser, sont victimes de collisions avec des véhicules, routiers comme ferroviaires.

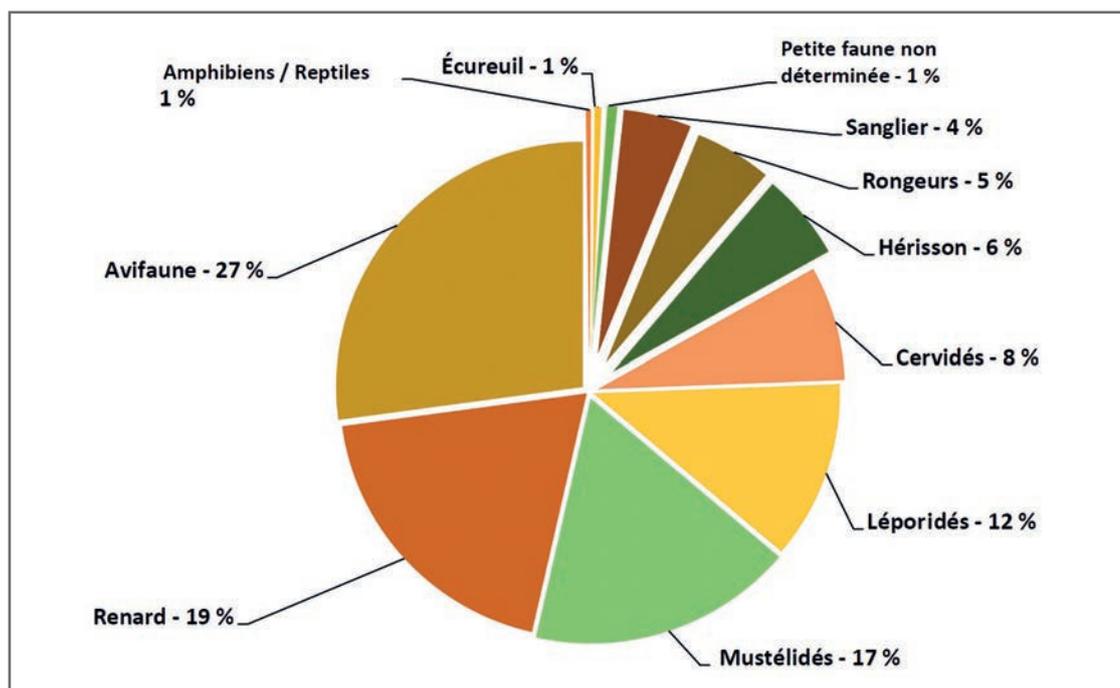
La mortalité liée aux infrastructures reste toutefois variable suivant :

- **les espèces**, même si globalement toutes sont susceptibles d'être concernées. Parmi les facteurs liés à l'espèce, on peut citer :
 - la sensibilité au dérangement (les espèces sensibles au dérangement étant généralement moins impactées, car elles ne s'approchent pas de l'infrastructure),
 - le comportement (de nombreux prédateurs viennent chasser en bordure d'infrastructure

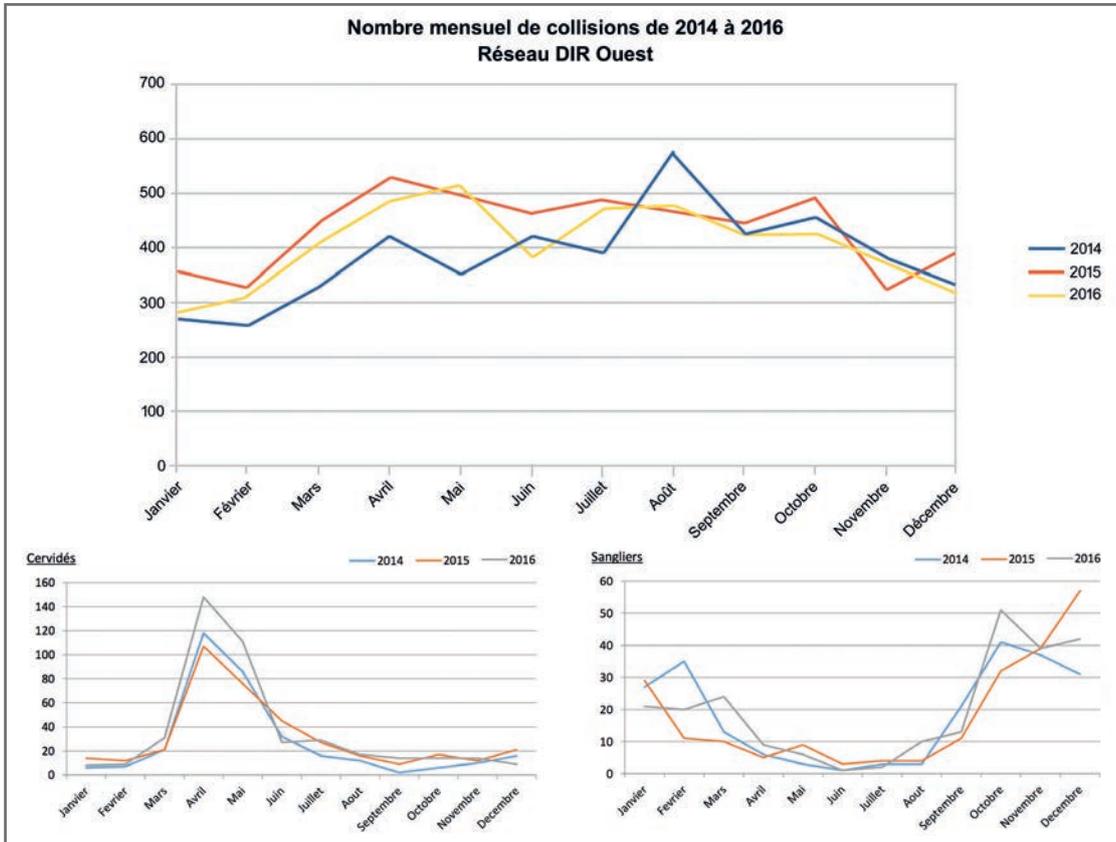
en raison de la richesse des accotements en micromammifères* et en insectes) ;

- la taille du territoire de l'espèce (plus le territoire est grand, plus le risque de devoir traverser des infrastructures pour accéder à l'ensemble des ressources est important),
- les capacités de dispersion (plus elles sont importantes plus le risque est élevé),
- les vitesses de déplacement (les espèces se déplaçant lentement ont une capacité de fuite limitée et sont, de fait, plus exposées au risque de collision) ;

- **les rythmes saisonniers** : une étude menée sur le réseau de la DIR Ouest a permis de mettre en évidence les variations saisonnières des collisions propres à chaque espèce. Ainsi, chaque année, la répartition du nombre de collisions suit la même tendance avec une légère baisse durant les mois d'hiver (cf. schéma page ci-contre). L'étude plus fine des données de collisions montre, par groupes d'espèces, une variabilité intra-annuelle marquée et similaire d'années en années. Ci-après, quelques exemples de ces pics dont les causes peuvent être diverses (facteurs comportementaux, mise bas, essaimage des jeunes, chasse...)



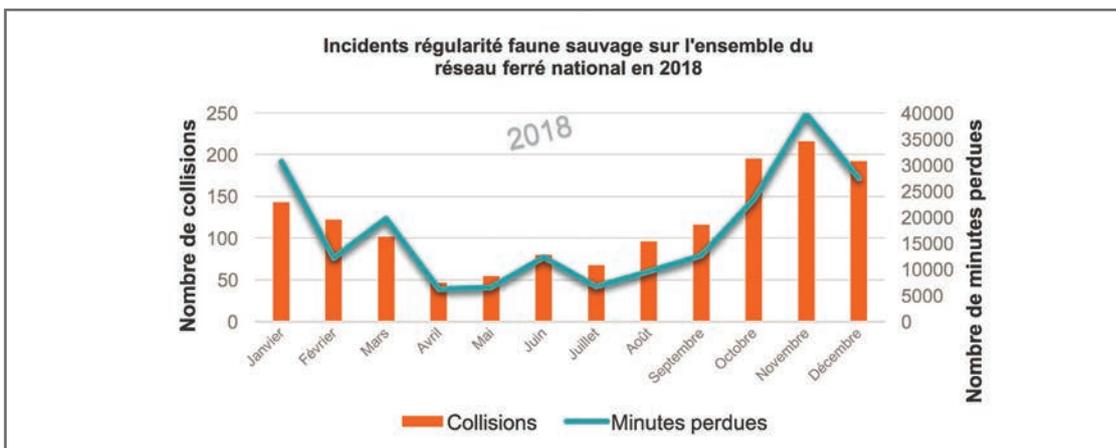
Répartition des collisions sur le réseau de la DIR Ouest selon les espèces/groupes d'espèces de 2014 à 2016 par année. Source : Rapport d'analyse de la répartition des collisions faune/véhicule. DIR Ouest. Données récoltées de 2014 à 2016, mars 2018, UMS Patrinat, Lucille Billon.



Répartition mensuelle des collisions par année pour le chevreuil et le sanglier. Source : Rapport d'analyse de la répartition des collisions faune/véhicule. DIR Ouest. Données récoltées de 2014 à 2016, mars 2018, UMS Patrinat, Lucille Billon.

Sur le réseau ferré national, c'est-à-dire les LGV mais aussi les lignes classiques, ce phénomène est également observé. Une forte saisonnalité des collisions est notée :

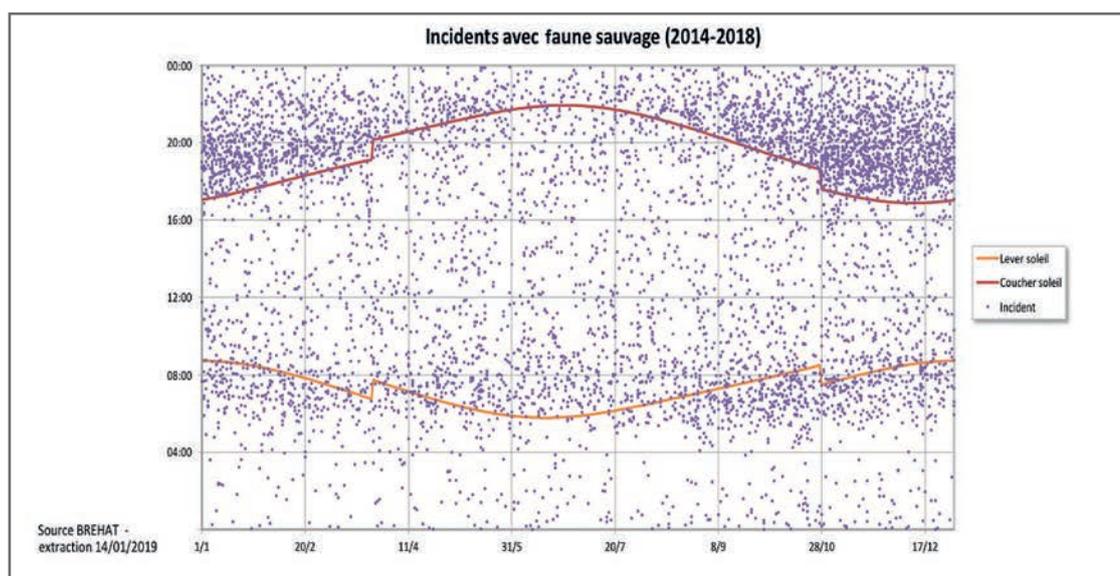
- pic annuel très important chaque année de mi-octobre à mi-janvier avec les ongulés (cervidés et sangliers),
- pic propre aux chevreuils chaque année d'avril à juin (léger décalage selon les années), correspondant à la période de recherche de nouveaux territoires pour les jeunes, phénomène pouvant être accentué par la consommation de bourgeons rendant les chevreuils « saouls », donc moins vigilants.



Graphique de répartition des collisions recensées et des minutes perdues liées à la faune sauvage sur l'ensemble du réseau ferré national en 2018. Source : Marine Le Lay, SNCF Réseau.

Une autre variable temporelle est celle de l'heure de la journée : les collisions ont principalement lieu au lever du soleil et encore plus à son coucher.

Cette heure de crépuscule correspond également au pic de trafic à l'automne (trains de voyageurs repartant chez eux après la journée de travail).



Graphique des horaires des collisions faune sauvage/trains au cours de l'année et courbes des heures de lever et coucher du soleil.
Source : Marine Le Lay, SNCF Réseau.

• **les caractéristiques de l'infrastructure.** Le risque dépend notamment :

- de la largeur de l'infrastructure : plus elle est importante, plus la distance de traversée sera élevée, plus le risque de collision sera grand,
- de la largeur des dépendances vertes et de la gestion qui en est faite, notamment en termes d'entretien de la végétation, car elles peuvent jouer un rôle sur l'attractivité des espèces en bordure d'infrastructures ou sur la hauteur de vol des oiseaux ou des chauves-souris (élévation du vol au-dessus du trafic dans certaines situations lorsque des arbres sont présents),
- des profils transversaux (remblai, déblai, profil mixte...) notamment pour les espèces volantes. Les profils en léger remblai ou au niveau du terrain naturel sont bien souvent les plus impactants. Ce n'est pas forcément le cas pour les mammifères en particulier sur les infrastructures ferroviaires où il semble y avoir par contre plus de soucis constatés au droit des grands déblais,
- de la présence de clôtures qui peut limiter l'impact, en empêchant les espèces d'accéder à la zone de danger,

- de la linéarité de l'infrastructure (les courbes offrant généralement de mauvaises conditions de visibilité et d'anticipation du danger) ;

• **le trafic et la vitesse** jouent sans conteste un rôle sur le niveau d'impact. Les situations les plus accidentogènes sur les infrastructures routières correspondent globalement aux sections supportant un trafic faible et rapide. Pour les espèces se déplaçant lentement, même lorsque la vitesse des véhicules et les niveaux de trafic sont faibles, les impacts sur les populations peuvent s'avérer très importants ;



Impact du trafic sur les populations d'amphibiens

Source : J.J. Van Gelder (1973).

Sur une population de crapauds communs devant franchir une infrastructure, un trafic de 10 véhicules/heure élimine 30 % des individus en migration*, 60 véhicules/heure supprime 90 % des migrants et 120 véhicules/heure tue 99 % de la population. Pour la grenouille rousse qui se déplace plus rapidement, le taux de mortalité atteint 50 % pour un trafic de 90 véhicules/heure.

- **la qualité et la structure du milieu traversé.**

Plus le milieu est de qualité et accueillant, plus le nombre d'animaux sera potentiellement élevé, et plus le nombre d'individus susceptibles de traverser l'infrastructure sera grand. En ce sens, les corridors écologiques traversés par une infrastructure constituent généralement des points noirs de mortalité.

La structure de végétation de part et d'autre de l'infrastructure peut également jouer un rôle en guidant les espèces vers le danger (exemple des chiroptères*, qui suivent les structures du paysage pour se déplacer).

Les collisions avec les véhicules peuvent ainsi être très préjudiciables au bon état de conservation des populations, notamment lorsque ces populations sont en faibles effectifs, qu'elles sont sensibles au risque de collision (ex. : faible vitesse de déplacement) et que leur dynamique de reproduction est faible (nombre de jeunes par an peu élevé).

Sur le réseau ferroviaire, le suivi de l'impact ne peut se faire actuellement qu'à travers celui de la régularité des circulations ferroviaires, ce qui veut dire que seuls les événements liés à des animaux de grande taille sont généralement recensés.

Si l'évaluation de l'impact des infrastructures sur la dynamique des populations reste très difficile à quantifier, la mise en place de suivis ou de relevés de collisions, s'ils sont suffisamment longs (au moins quatre ans sur les autoroutes), s'ils sont réalisés par les patrouilleurs (sur autoroutes) et s'ils sont complétés d'un suivi mensuel sur une année par un écologue (source : projet COMERCAR, ITTECOP, 2017), peut donner des indications complètes sur les différentes classes de taille de la faune (petite, moyenne et grande faune) et sur les points noirs de collisions. Ces indications, croisées avec d'autres données (densité de population sur le territoire, répartition des populations en lien avec les associations naturalistes locales, écologie du paysage, présence ou absence d'ouvrage d'art et de clôtures...) sont utiles à la requalification* environnementale des réseaux par l'élaboration d'un programme pluriannuel de résorption des zones de conflits. Les études de collisions seules sont toutefois insuffisantes pour positionner des ouvrages. Une étude plus globale sur les continuités écologiques doit dans ce cas accompagner la démarche.



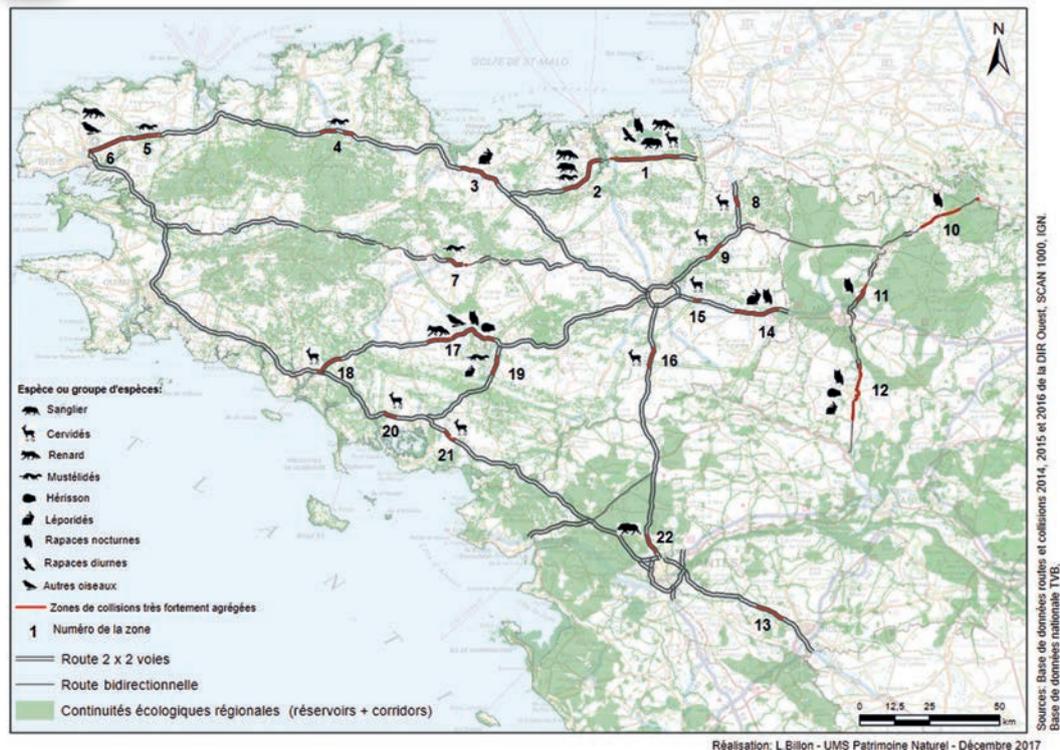
Afin de parvenir à une homogénéisation nationale, le MNHN, s'appuyant sur le travail réalisé par le Cerema Ouest pour la DIR Ouest, a publié en 2015 un Protocole de recensement des collisions entre la faune sauvage et les véhicules. Il peut être appliqué par les gestionnaires d'infrastructures et d'autres structures désireuses d'étudier les points de conflit faune/route.

Un second document présente la méthodologie d'analyse des données de collisions, afin de détecter des points de conflits faune/route.





Synthèse des zones de forte agrégation de collisions faune/véhicules - DIR Ouest 2014 - 2016



Source : Rapport d'analyse de la répartition des collisions faune/véhicule, DIR Ouest. Données récoltées de 2014 à 2016, mars 2018, UMS Patrinat, Lucille Billon.

Un impératif de sécurité des usagers

Au-delà de l'impact sur la biodiversité*, les enjeux de collisions avec la faune touchent également la sécurité des usagers des infrastructures de transport. En France, entre 2008 et 2010, d'après les données des services de police et de gendarmerie, près de 500 accidents corporels avec animal sauvage (soit autour de 170 par an) ont été comptabilisés, entraînant 35 morts (soit environ 12 par an), 350 blessés hospitalisés (soit environ 115 par an) et 200 blessés légers (soit environ 65 par an). Sur le réseau ferroviaire, c'est près de 1 500 collisions qui sont recensées chaque année sur le territoire national, engendrant près de 200 000 minutes perdues sur 8 000 trains. Selon l'espèce en question, le choc frontal ou latéral et le type de matériel roulant, les collisions peuvent engendrer des dégâts matériels très importants, faisant peser un risque

sur la sécurité des circulations et des personnes et pouvant entraîner le transfert des voyageurs.

Le nombre d'accidents a par ailleurs tendance à augmenter depuis de nombreuses années. Un recensement effectué entre 1984 et 1986 par la Direction des routes du ministère de l'Équipement faisait état de 11 055 collisions avec la faune sur ces trois années (soit moins de 4 000 par an). En 2008, le nombre d'accidents provoqués par des animaux sauvages était de l'ordre de 35 000, dont plus de 60 % par du grand gibier (36 % de sangliers, 17 % de chevreuils, 8 % de cerfs). D'un point de vue économique, d'après une étude menée par l'ONCFS, on estime que les collisions avec les grands ongulés ont un coût compris entre 115 et 180 millions d'euros pour environ 23 500 collisions (Vignon et Barbarreau, 2008).

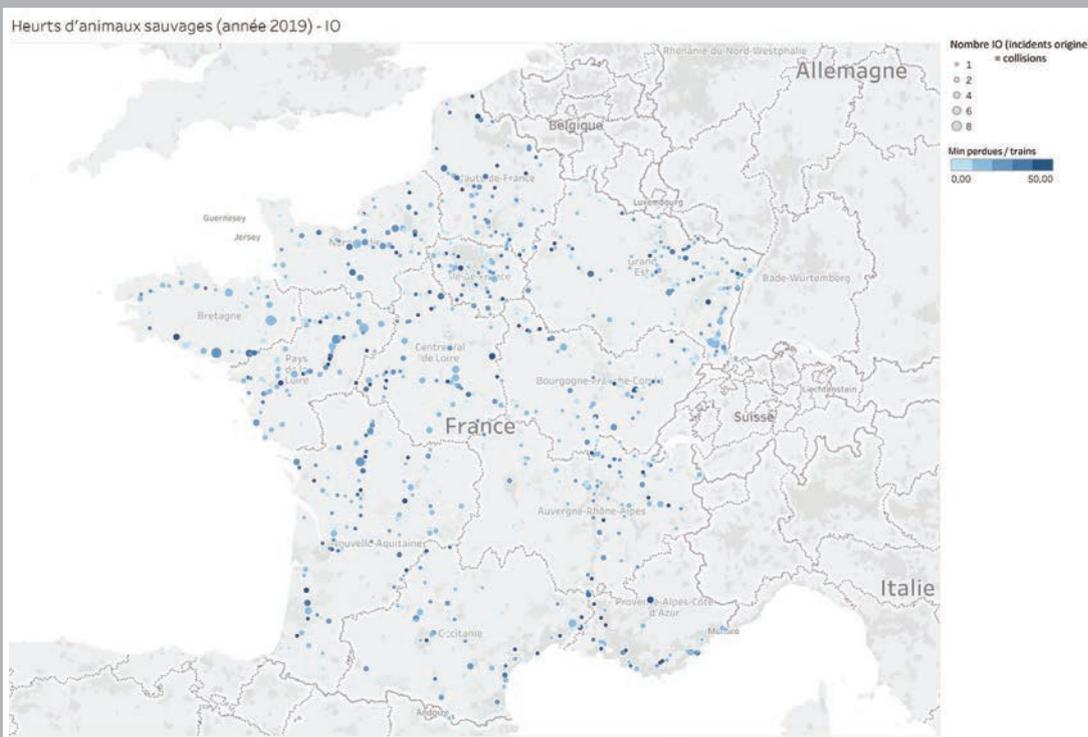


Impacts des collisions sur les infrastructures ferroviaires

Sur le réseau ferroviaire, les collisions avec la grande faune sont nombreuses et engendrent d'importants dégâts sur le matériel dont les réparations nécessitent l'immobilisation de matériel et des dépenses importantes (jusqu'à 70 000 € pour une collision).

Ces accidents peuvent également fragiliser les infrastructures et engendrer de nombreux retards et suppressions de trains (inspection après collision, relève de machine endommagée, transfert des voyageurs dans une autre rame...). Quelques chiffres :

- le nombre d'incidents liés au grand gibier ne cesse d'augmenter. Il est passé de 1 027 en 2014, à 1 132 en 2015, puis 1 280 en 2016 et enfin 1 432 en 2018 ;
- la moyenne du coût complet d'une collision ayant lieu sur LGV est de l'ordre de 100 000 €. Ces coûts comprennent les retards, les fournitures et main d'œuvre pour la réparation du matériel, l'immobilisation de la rame impactée, celle des personnels roulants et les dédommagements des voyageurs.



Carte des collisions ferroviaires impliquant un animal sauvage en 2019. Source : Marine Le Lay, SNCF Réseau.

Enfin, il faut également noter qu'en cas d'accident provoqué par le passage de grands animaux sauvages sur la voie publique, la responsabilité du gestionnaire de la voie peut être engagée pour défaut d'entretien normal ou de signalisation.

La prise en compte des continuités écologiques qui supportent un grand nombre de déplacements de la faune est donc une nécessité pour assurer la sécurité des usagers et limiter le coût économique des accidents.

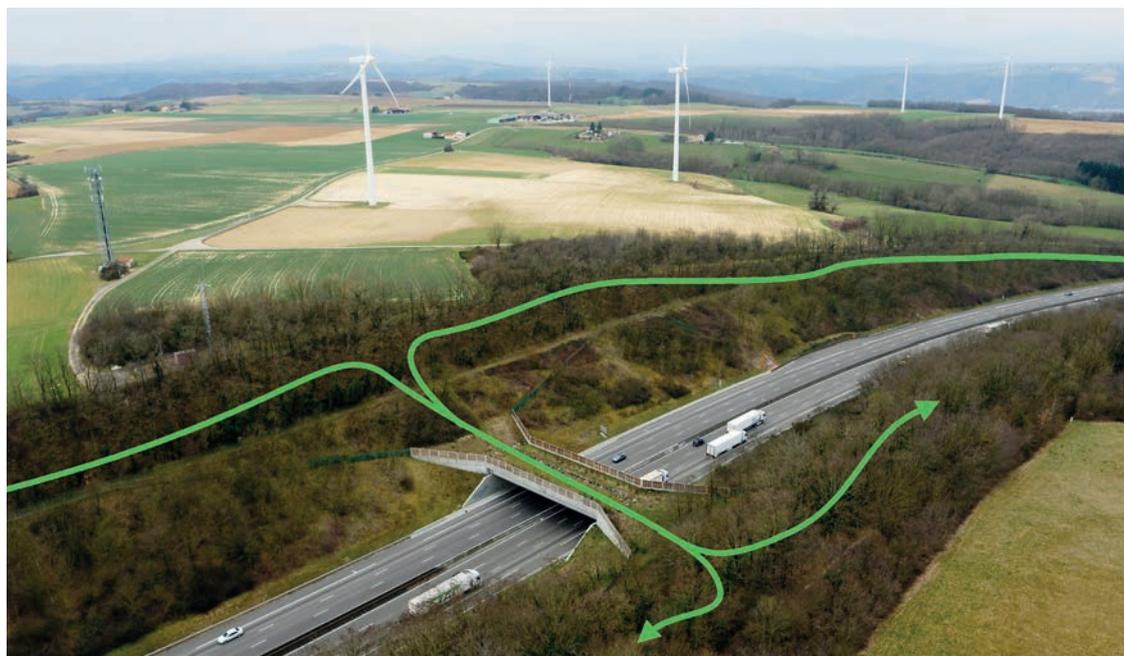
Comment apporter une réponse efficace à l'interruption des continuités écologiques ?

Assurer un rétablissement des continuités transversales et longitudinales

L'un des principaux impacts d'une infrastructure est l'effet de barrière qu'elle constitue pour le déplacement de la faune. S'il n'est pas possible ni techniquement, ni économiquement, de rétablir l'ensemble des possibilités de franchissement pour l'ensemble des espèces le long des infrastructures, il est possible de limiter les impacts de la fragmentation et d'assurer un minimum de perméabilité par la construction d'ouvrages de franchissement pour la faune (cf. Partie II). Ces ouvrages sont conçus et réalisés en tenant compte des spécificités et de l'intérêt des habitats traversés ainsi que des espèces concernées, à travers l'analyse des continuités écologiques qui ont été interrompues.

Un passage à faune rétablit les possibilités de franchissement avec plus ou moins d'efficacité en

fonction de sa taille, des milieux en présence, de l'aménagement, etc., mais dans tous les cas, ce rétablissement ne s'effectue qu'en un point donné. Il est donc nécessaire à la fois de s'assurer de la bonne conception du passage, mais également de favoriser son utilisation par la prise en compte des structures permettant de conduire la faune jusqu'à cet ouvrage. En ce sens, les dépendances vertes de l'infrastructure, c'est-à-dire les espaces de végétation bordant les infrastructures peuvent constituer ce relai et faciliter le déplacement des espèces le long des infrastructures jusqu'aux passages à faune, sous réserve toutefois que l'implantation des clôtures le permette (ce qui n'est pas toujours le cas lorsque celles-ci sont positionnées en limite d'emprise).



Exemple de dépendances vertes favorables aux déplacements le long de l'infrastructure jusqu'au passage à faune.
Source : Alterra/Vinci Autoroutes.

Intégrer les continuités écologiques au cours des différents stades du projet

Les projets d'infrastructures de transport se déroulent en phases successives, chacune ayant un objectif particulier. Dans le cas d'un projet neuf, le territoire étudié est de plus en plus restreint au fur et à mesure des phases (progressivité des études). Le degré de précision des investigations de ces différentes études dépend toutefois de l'importance du projet en termes d'échelle. Plus l'envergure d'un projet est importante, plus l'aire d'étude est étendue. Un projet de plusieurs dizaines voire centaines de kilomètres ne s'appréhende pas de la même façon qu'un projet de quelques kilomètres.

Le territoire d'étude étant généralement plus restreint pour les projets de requalification* que pour les projets neufs, les chapitres suivants traiteront principalement des projets neufs. Les particularités des projets de requalification seront traitées en commentaires.

L'instruction du Gouvernement du 8 novembre 2018 relative aux modalités d'élaboration des opérations d'investissement et de gestion sur le réseau routier national a posé la nécessité d'une décision d'opportunité autorisant la réalisation de travaux sur le domaine routier national ou pour les travaux prévus par un maître d'ouvrage tiers (collectivité, société concessionnaire, etc.) impactant le réseau national.

L'instruction technique fixe le cadre et l'enchaînement des études nécessaires à la réalisation de ces projets.



Pour les projets d'un maître d'ouvrage tiers n'impactant pas le réseau routier national, même si les différentes phases d'études peuvent être reprises, il n'est pas fait d'obligations particulières avant le dossier de déclaration d'utilité publique.

Études d'opportunité

Il s'agit d'un ensemble d'études qui visent à vérifier progressivement la pertinence d'un projet d'infrastructure pour répondre à un besoin de mobilité identifié et d'en esquisser les principales caractéristiques.

Trois niveaux d'études ont été définis :

- étude d'opportunité d'itinéraire ;
- étude d'opportunité de projet de phase 1 ;
- étude d'opportunité de projet de phase 2.

Étude d'opportunité d'itinéraire

Les études d'opportunité d'itinéraire, sur un territoire donné, ont pour objectif principal de préciser le(s) besoin(s) de mobilité et d'en déduire **un parti d'aménagement** [A page suivante] à long terme, qui permettra de répondre à ce besoin. La réflexion doit être faite sur le système de transport global incluant l'ensemble du réseau routier et des liens avec les autres modes.

Le parti d'aménagement sera alors décomposé en différentes opérations individuelles (ex. : déviation, élargissement...) qui pourront être hiérarchisées et permettre de définir un ou plusieurs projets d'aménagement routier à privilégier à court ou moyen terme. [1 page suivante]

■ Prise en compte des continuités écologiques

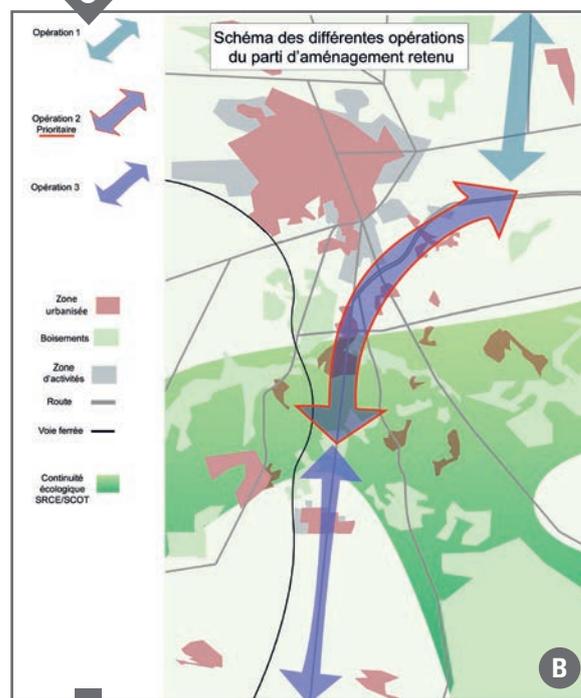
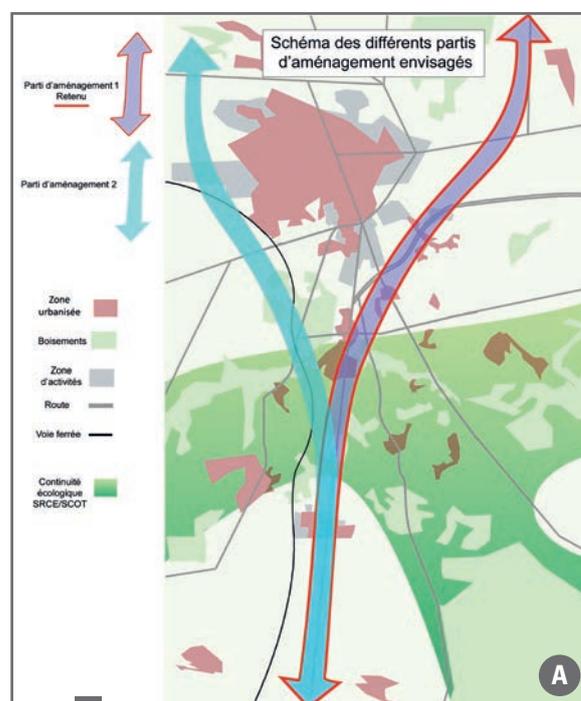
L'analyse est à ce niveau assez simplifiée et essentiellement d'ordre bibliographique. L'objectif est surtout dans un premier temps de tenir compte de l'état actuel et notamment de faire une analyse du réseau du point de vue des éventuelles coupures existantes.

Cette analyse doit également permettre de prendre en compte les conséquences négatives des différents partis d'aménagement sur les continuités écologiques. Elle participe ainsi à la comparaison des variantes de réseaux, au choix de la variante d'itinéraire préférentielle et à ses implications ultérieures [B].

On s'attache par exemple ici essentiellement à tenir compte des documents et cartographies des SRCE et des nouveaux SRADDET remplaçant les SRCE, ainsi que, en fonction de l'importance du projet, de la trame verte et bleue* des SCoT et des PLU(i) s'ils sont disponibles. Il convient aussi de contacter les structures naturalistes qui peuvent disposer de données sur la zone. Il faudra veiller à distinguer, parmi les éléments constitutifs des continuités écologiques, les réservoirs de biodiversité* et les corridors, ces derniers étant plus susceptibles d'être franchis que les premiers. Des informations complémentaires sur les périmètres de protection (généralement intégrés aux réservoirs de biodiversité) pourront être apportées pour préciser certains niveaux de contraintes.

Étude d'opportunité de projet de phase 1

Les études d'opportunité de projet phase 1 (appelées « pré-études fonctionnelles » dans le domaine ferroviaire) concernent un **projet d'aménagement (ou opération) identifié** [C page suivante]. Elles ont pour objectif de se prononcer sur l'opportunité de l'opération, c'est-à-dire à la fois sur son intérêt, sa faisabilité et les conditions de sa poursuite. Cette phase d'étude doit notamment permettre de savoir si, au regard des besoins (de mobilité, de réduction de nuisances...), le projet routier (ou ferroviaire) proposé apporte une réponse proportionnée et pertinente, et s'il est réalisable.



Représentation schématique des phases d'une étude d'opportunité d'itinéraire. Source : Cerema.
Schéma A : variantes d'itinéraires.
Schéma B : itinéraire retenu avec différenciation des opérations d'aménagement, dont celle jugée prioritaire.

Lorsque plusieurs projets ont été identifiés ❷, cette phase doit permettre de définir lequel doit être privilégié. ❸

■ Prise en compte des continuités écologiques

À l'image de la phase précédente, les enjeux et les impacts potentiels sur l'environnement et la biodiversité* sont principalement identifiés à partir des données existantes (habitats, espèces et zonages réglementaires ou non). Un plan de relevés de terrain pour la phase suivante peut également être dressé et quelques relevés dans les zones mal connues peuvent être réalisés à cette phase, afin de mieux éclairer les décisions de la maîtrise d'ouvrage.

La démarche de prise en compte des continuités écologiques notamment en termes de coupure est globalement identique, sauf qu'elle s'effectue à l'échelle d'un projet d'aménagement et non plus à l'échelle d'un parti d'aménagement. L'analyse des données peut affiner les limites des continuités connues, en fonction de l'échelle du projet.



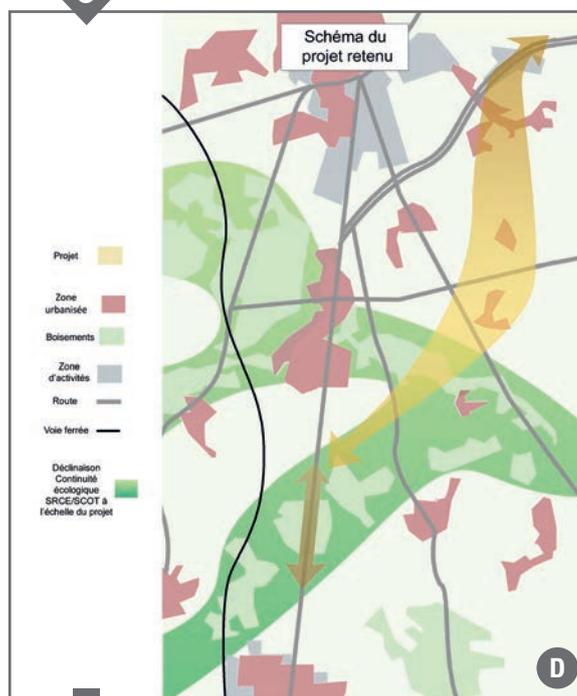
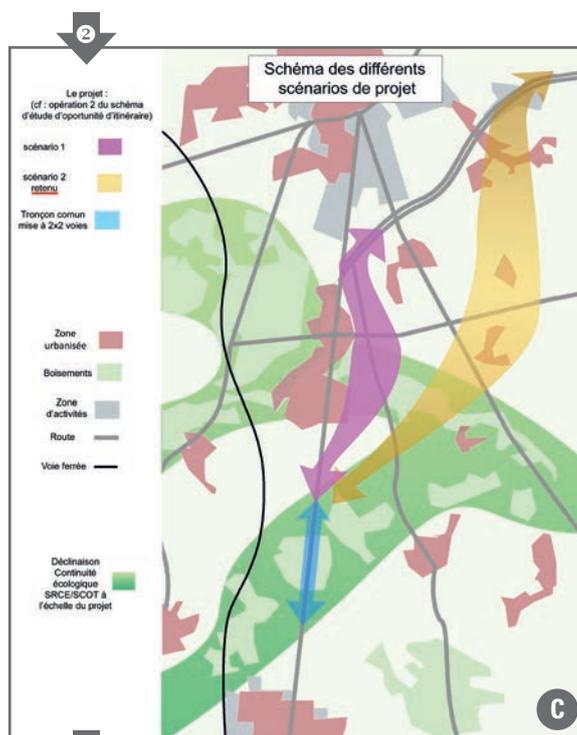
Cas des projets de requalification*

Ce type de phase est peu réalisé, l'on passe directement à la phase suivante.

Étude d'opportunité de projet de phase 2

Les études d'opportunité de phase 2, relatives à un **projet d'infrastructure précisément identifié** [D], permettent de choisir la meilleure solution d'aménagement, notamment en termes de passage sur le territoire, et d'en arrêter les principales caractéristiques techniques. C'est une démarche progressive qui permet, à chaque étape, de réduire la zone géographique, afin de limiter l'ampleur des études.

Elles ont ainsi pour objet de préciser les enjeux conditionnant l'opération, de présenter une ou plusieurs familles de variantes d'aménagement répondant aux enjeux identifiés et d'aboutir au choix d'une variante privilégiée qui sera portée à l'enquête publique*.



Représentation schématique des phases d'une étude d'opportunité. Source : Cerema.
Schéma C : différentes options de projet envisagées pour l'opération considérée comme prioritaire en ❶.
Schéma D : projet retenu.

Des principes d'aménagement peuvent être déterminés dès cette phase (ex. : culée des ouvrages hydrauliques sur les cours d'eau permanents à au moins 3 m du bord de berges).

L'étude d'opportunité de phase 2 s'effectue sur une zone d'étude [E] définie en fonction des orientations antérieures et de la nature de l'opération envisagée (elle peut être par exemple très vaste dans le cas d'un projet en tracé neuf, ou réduite à une bande étroite de part et d'autre d'une infrastructure existante à élargir).

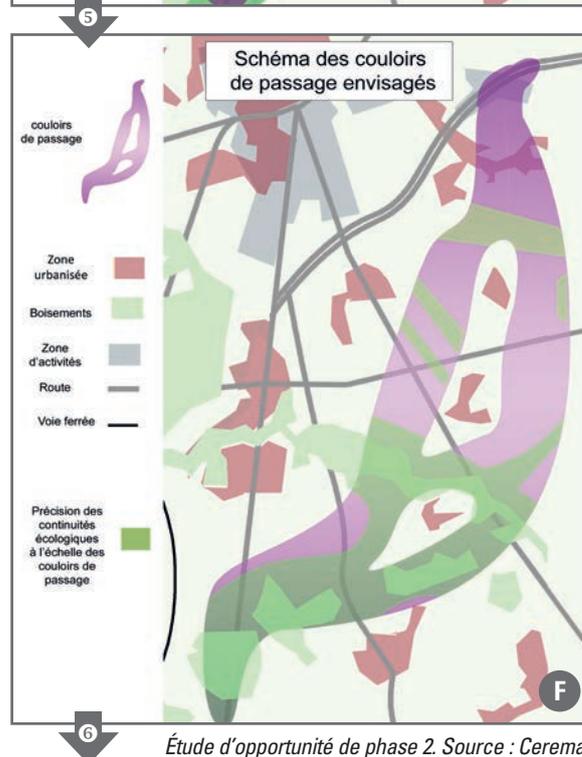
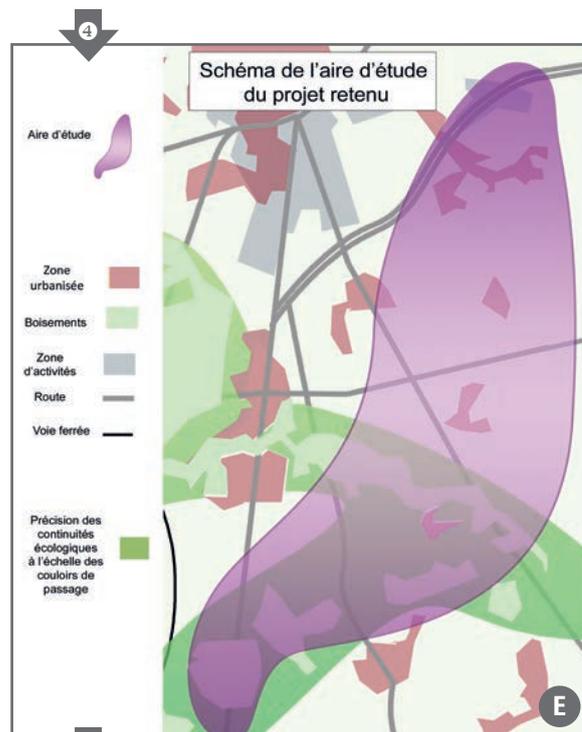
À partir de cette zone d'étude, notamment lorsqu'il s'agit d'un tracé neuf, l'analyse se fait en trois temps :

- une première étape qui vise progressivement à réduire la zone d'étude à un ou plusieurs **couloirs de passages** [F] au sein desquels les caractéristiques techniques pourront être approfondies. Il s'agit d'un dégrossissage de l'opération sur la base de cartographies existantes (cartes au 1/25 000^e, 1/50 000^e ou 1/100 000^e selon l'importance de l'opération).

■ Prise en compte des continuités écologiques

Au cours de cette première étape, la prise en compte des continuités écologiques se fera à partir des cartographies existantes (SRCE, SRADDET, ScOT, PLU(i), études trame verte et bleue*...) et intégrera les autres périmètres d'alerte (ZNIEFF, Natura 2000*...), même si normalement ces derniers sont déjà intégrés aux cartographies des étapes précédentes. Enfin, cette première approche pourra être complétée par une analyse cartographique simplifiée de l'occupation du sol, en vue d'identifier les grandes continuités naturelles qui n'ont pas été intégrées aux données existantes ou qui apparaissent d'ores et déjà évidentes ;

- une seconde étape où, au sein des couloirs de passage, les variantes proprement dites seront étudiées [G page suivante] sur la base d'un recueil de données plus précis et poussé, comportant des reconnaissances de terrain.



Étude d'opportunité de phase 2. Source : Cerema.
Schéma E : aire d'étude du projet.
Schéma F : couloirs de passage envisagés.

Ces études sont à mener à des échelles allant du 1/10 000^e au 1/5 000^e voire 1/5 000^e à 1/1 000^e pour un aménagement sur place.

■ Prise en compte des continuités écologiques

La seconde étape s'appuie sur une analyse de l'occupation du sol, des données naturalistes antérieures, des éléments de la trame verte et bleue* régionale et des premiers inventaires précis de terrain d'habitats naturels et d'espèces* (flore et faune). Elle vise à identifier et à cartographier les continuités écologiques à l'échelle du fuseau retenu (notion de déclinaison de la TVB). Il s'agit de reprendre les éléments du SRCE ou du ScOT en les adaptant et en les précisant localement, puis de compléter en identifiant toutes les continuités écologiques d'enjeu plus local ne figurant pas dans les documents de planification et déjà amorcées au cours des phases précédentes.

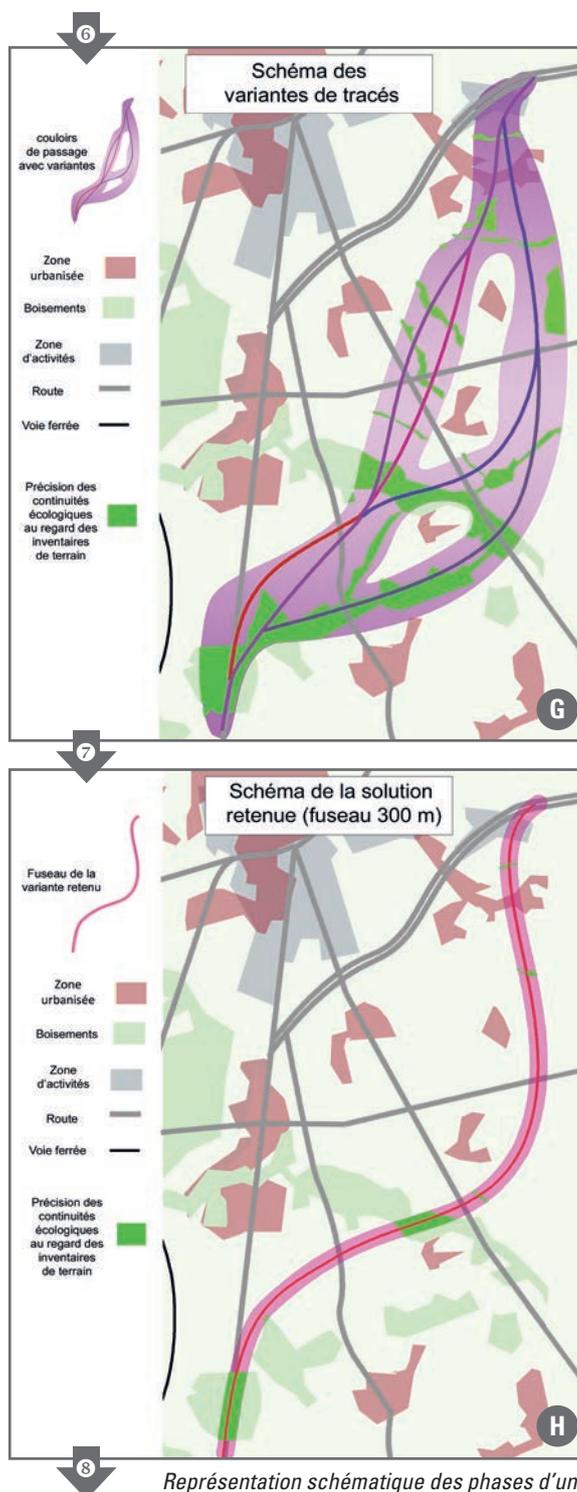
Une analyse multicritère permettra alors après concertation de définir la solution (variante de fuseau de 300 m) la plus pertinente pour être soumise à l'enquête préalable à la déclaration publique [H]. Cette analyse s'effectue sur la base d'un ensemble d'enjeux techniques, économiques, sociaux et environnementaux.

Cette phase devra notamment intégrer une hiérarchisation des enjeux spécifiques liés aux habitats naturels et aux continuités écologiques. La hiérarchisation des solutions doit se faire par comparaisons qualitatives et quantitatives en retenant des indicateurs pertinents liés à la disparition prévisible de surfaces d'habitats dans les différents fuseaux, à la réduction des territoires déjà morcelés, aux surfaces minimales à conserver pour la survie des espèces et à la coupure des flux fonctionnels forts.



Cas des projets de requalification*

Les éléments rapportés sont identiques à ceux d'un projet neuf en dehors du fait que la zone d'étude est centrée autour de la voie existante.



Représentation schématique des phases d'une étude d'opportunité. Source : Cerema.
Schéma G : Variantes de tracés envisagées.
Schéma H : Variante de tracé retenue.

Études préalables (à l'enquête publique*)

À partir de la variante privilégiée à l'issue des études d'opportunité de phase 2, les études préalables à l'enquête publique* ont notamment pour objectifs de déterminer les caractéristiques techniques principales, qui doivent être conformes aux instructions en vigueur et aux règles de l'art, et de déterminer les impacts et les mesures permettant d'éviter, de réduire, ou de compenser* ces impacts.

Il s'agit notamment de définir avec une précision de quelques centaines voire quelques dizaines de mètres le tracé qui sera soumis à l'enquête publique. L'étude de la variante retenue peut ainsi encore faire l'objet d'ajustements localisés. À la fin de cette phase d'étude préalable, le tracé d'étude présenté en DUP sera choisi.

■ Prise en compte des continuités écologiques

Il s'agit à ce stade d'effectuer d'éventuels inventaires complémentaires des habitats naturels (et habitats d'espèces) d'intérêt patrimonial (codification EUNIS) et de s'assurer de la fonctionnalité des continuités écologiques, notamment par une vérification sur le terrain, sur toute la zone d'étude, et en particulier au droit des points d'intersection avec les tracés de référence, dans les zones détectées en déficit de connaissance ou à défaut sur toutes les zones présumées sensibles.

Une analyse plus fine, complémentaire et spécifique des continuités écologiques nécessaires au maintien de certaines espèces ou cortèges d'espèces patrimoniales et notamment les espèces protégées, peut également être conduite. Lorsqu'il s'agit d'espèces protégées, cette analyse permet de compléter le dossier de « dérogation espèces protégées ».

Les caractéristiques essentielles du projet et les mesures associées en faveur de la faune sont indiquées avec un niveau de précision assez fin, de l'ordre d'une centaine de mètres. Le dossier comporte entre autres les mesures permettant de maintenir la transparence de l'infrastructure pour la faune, et plus particulièrement au droit des continuités identifiées au cours des phases précédentes (et précisées si nécessaire à ce stade des études) 8.

Les passages à faune sont ainsi localisés, leur fonction décrite (passage toute faune spécifique, mixte, passage petite faune...), leur dimensionnement défini. Le calage précis et les modalités de leur construction et de leur mise en œuvre sont par contre précisés lors des phases ultérieures du projet.

Il s'agit également d'effectuer une analyse des continuités longitudinales qu'il est possible de rétablir, en tenant compte des habitats éventuellement recréés et des dispositifs de clôtures associés aux ouvrages.



Cas des projets de requalification*

Les éléments rapportés sont identiques à ceux d'un projet neuf en dehors du fait que la zone d'étude est centrée autour de la voie existante.



Études préalables : représentation schématique du tracé de l'infrastructure en plan, avec entrées en terre, position des passages à faune...
Source : Cerema.

Dossier de déclaration d'utilité publique (DUP)¹ incluant l'étude d'impact

La DUP tient lieu de déclaration de projet prévue à l'article L.126.1 du Code de l'environnement*. Le dossier comporte plusieurs pièces (objet de l'enquête, plans de situation, notice explicative, plan général des travaux) et notamment l'étude d'impact, qui constitue un document essentiel (si le projet est soumis à évaluation environnementale²).

L'étude d'impact est la **synthèse** des études environnementales menées depuis la décision prise sur l'opportunité du projet jusqu'au lancement de l'enquête préalable à la déclaration de projet ou déclaration d'utilité publique. Sur la base des procédures qui ont été menées, elle permet de décrire et d'apprécier les incidences notables d'un projet sur tous les domaines de l'environnement dont les milieux naturels, la faune et les continuités écologiques et de justifier les objectifs et raisons qui ont conduit à choisir la solution retenue.

L'étude d'impact doit être suffisamment synthétique, claire et argumentée pour préparer l'enquête publique*.

Son contenu (article R.122-5 du Code de l'environnement*) est largement détaillé dans le guide méthodologique du Cerema, *L'étude d'impact dans les projets d'infrastructures linéaires de transport*, paru en 2016.

Cette étude d'impact est réalisée de manière proportionnée, progressive et itérative tout au long du projet, afin de prendre en compte l'environnement et d'adopter la solution la moins impactante.

Si l'état initial de l'environnement s'appuie sur les dossiers d'études préalables, un approfondissement peut être nécessaire sur certains thèmes ou secteurs géographiques, si des enjeux majeurs sont susceptibles d'être impactés ou lorsque le niveau d'information est insuffisant.

Les échelles cartographiques sont identiques à celles mentionnées dans les études préalables à la DUP.

Cependant, des zooms thématiques ou géographiques doivent permettre d'analyser les enjeux majeurs avec précision, les impacts sur l'environnement et notamment les impacts cumulés avec d'autres projets connus et les mesures pour éviter, réduire et compenser* les effets négatifs.

Les dispositifs de suivis (notamment d'utilisation des passages) sont d'ores et déjà également définis.



Cas des projets de requalification*

Les éléments à rapporter sont identiques à ceux d'un projet neuf.

Le tableau annexé à l'article R.122-2 du Code de l'environnement* s'applique aussi aux modifications ou extensions d'infrastructures de transport existantes. Les modifications ou extensions d'un ouvrage ou d'un aménagement existant, non spécifiquement explicitées dans le tableau font l'objet d'une étude d'impact, systématiquement ou après examen au cas par cas.

L'étude d'impact (ou le diagnostic écologique joint au cas par cas) doit contenir des données suffisamment récentes ou considérées comme encore d'actualité (le Conseil National de Protection de la Nature, CNPN, recommande une actualisation après 3 ans, si le projet fait l'objet d'une demande de dérogation au titre des espèces protégées).

Dossier des engagements de l'État (projet État)

Le dossier des engagements de l'État (nécessaire pour les dossiers de projet du réseau routier national) constitue le recensement exhaustif des engagements formels explicitement pris par l'État, qui doivent donc être respectés comme tels lors des études d'exécution puis de la réalisation, permettant la mise en œuvre d'un contrôle interne et externe (comité de suivi). Il en résulte que le dossier doit être rigoureusement fidèle à l'ensemble des engagements pris, tant dans leur teneur que dans leur niveau de précision.

¹ Lorsqu'il n'y a pas d'expropriation, il s'agit d'une déclaration de projet (avec étude d'impact).

² Cf. annexe R.122-2 du Code de l'environnement concernant les 52 catégories d'aménagement soumis à évaluation environnementale.

Il n'est généralement pas approprié d'arrêter le détail de certaines dispositions, le projet dans son ensemble n'ayant pas atteint à ce stade un niveau de définition suffisant. En ce qui concerne la prise en compte des continuités écologiques, il s'agit notamment :

- en termes d'objectifs ou de résultats, de définir le niveau de transparence à assurer vis-à-vis de la faune... ;
- en termes de modalités, par exemple de préciser la nature d'éventuelles études complémentaires ;
- en termes de moyens :
 - de réaliser des passages toute faune sans que pour autant ces dispositifs soient complètement dimensionnés. Dans ces cas, le passage est localisé et défini dans son principe,
 - de respecter certaines prescriptions comme l'aménagement de tous les ouvrages hydrauliques pour la faune terrestre, la possibilité de passage petite faune tous les 300 m,
 - le type de clôtures...



Cas des projets de requalification*

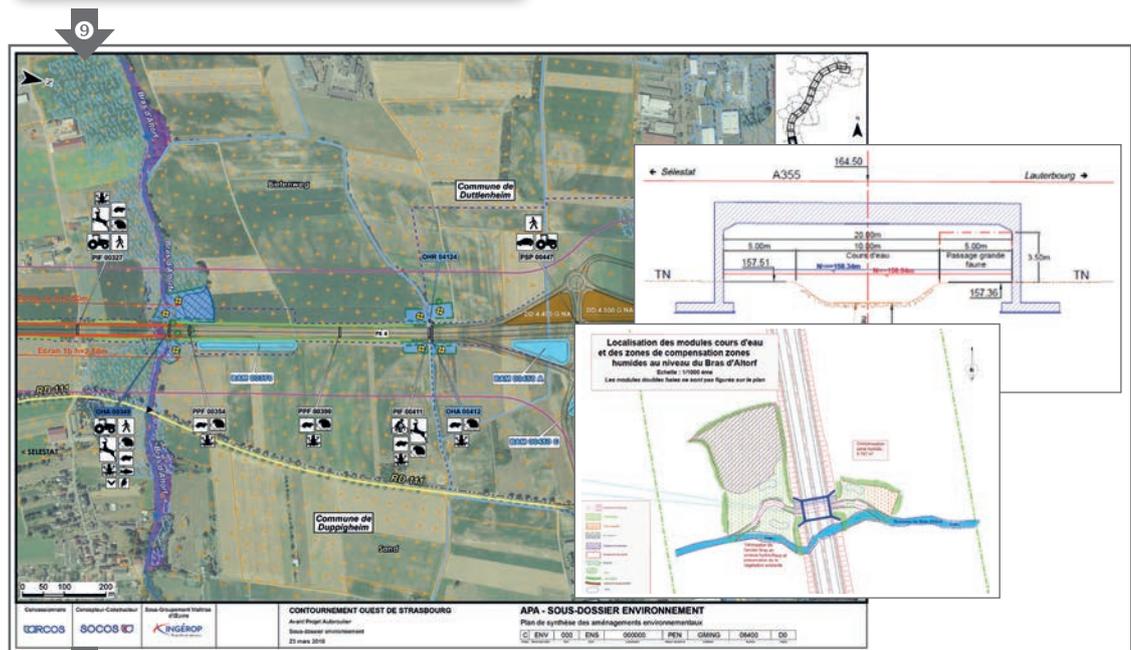
Les éléments à rapporter sont identiques à ceux d'un projet neuf.

Avant-projet

L'avant-projet fixe le tracé définitif de l'infrastructure, précise les caractéristiques et dimensions des ouvrages de la solution retenue et permet d'approfondir certaines mesures environnementales prévues dans l'étude d'impact. Le dossier intègre les engagements pris dans les phases précédentes (enquête publique*, engagements de l'État). Cette phase d'avant-projet n'est nécessaire que lorsqu'il y a une concession en jeu ou une maîtrise d'œuvre privée.

■ Prise en compte des continuités écologiques

L'avant-projet environnement finalise les choix de position et les caractéristiques des passages pour la faune en cohérence avec les autres sous-dossiers et en concertation avec les partenaires locaux. Il précise : la structure des ouvrages, leur insertion paysagère et l'esquisse des aménagements paysagers, le modelage permettant de définir les quantités de matériaux à mettre en œuvre, le coût et les mesures d'accompagnement (clôture, écran, dispositifs pour diriger la faune vers l'ouvrage, dispositifs de suivis comme les pièges à empreintes, les pièges photos...).



Exemple des pièces transmises dans le cadre d'une étude d'avant-projet autoroutier.

Plan masse des mesures prévues au droit du franchissement du Bras d'Altorf. Profil en travers type de l'ouvrage du cours d'eau et représentation schématique des aménagements écologiques proposés au droit du cours d'eau. Étude d'avant-projet autoroutier du contournement Ouest de Strasbourg. SOCOS/SINBIO. 2018.

Le plan de gestion des ouvrages de franchissement pour la faune est précisé à ce stade.

À l'intérieur des emprises, la gestion des abords des passages peut se faire par le biais d'une convention. Hors emprise, des problèmes fonciers peuvent compliquer la mise en œuvre de la gestion. Dans ce cas et dans le cadre de l'avant-projet autoroutier (APA), il est possible d'acquérir une emprise supplémentaire au droit des passages pour en maîtriser l'évolution, avant les procédures d'acquisitions foncières. Pour les routes nationales et les autoroutes concédées, les acquisitions peuvent aller au-delà de la bande des 300 m, afin d'acquérir des emprises supplémentaires bénéficiant d'une servitude de protection.

Les cartographies doivent avoir une précision de 1/500^e à 1/200^e.

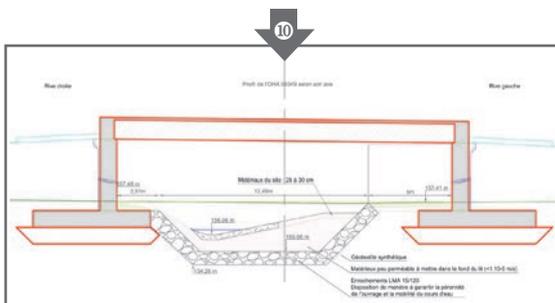


Cas des projets de requalification*

Les éléments à rapporter sont identiques à ceux d'un projet neuf.

Étude de conception détaillée : étude de projet

Les études de projet permettent de définir précisément les caractéristiques techniques détaillées (géométrie) du projet, son emprise exacte, les rétablissements de voiries, les ouvrages d'art...



Profil en travers de l'ouvrage du Bras d'Altorf et plan masse des aménagements écologiques effectués au droit du cours d'eau. Étude de projet du contournement Ouest de Strasbourg. SOCOS/SINBIO.

À ce stade, les acquisitions foncières nécessaires sont engagées. Le projet doit également intégrer l'autorisation environnementale à ce niveau (cf. chapitre suivant).

■ Prise en compte des continuités écologiques

L'étude d'exécution vise à définir très en détail les caractéristiques techniques et architecturales des passages à faune à créer et l'aménagement des abords, de façon à ce que les entreprises de génie civil puissent mettre en œuvre le projet sans obligatoirement disposer de l'aide d'un bureau d'études spécialisé en génie écologique.

Le dossier d'exécution comporte la description des ouvrages, leurs spécificités techniques et leurs mesures d'accompagnement (modelage du sol, type de clôture et emplacement, aménagement végétal, pièges à empreintes...), le cahier des clauses techniques particulières et un bordereau des prix précis.

Les éléments cartographiques au 1/200^e et les plans détaillent les caractéristiques des ouvrages : élévation, vue en plan, coupe en long et en travers et l'aménagement des abords : détails des terrassements, choix et densité de végétaux.



Cas des projets de requalification*

Les éléments à rapporter sont identiques à ceux d'un projet neuf.



Dossier d'autorisation environnementale

Pour les installations, ouvrages, travaux et activités (dits IOTA) soumis à autorisation au titre de la loi sur l'eau, une procédure intégrée unique dénommée « autorisation environnementale » est mise en œuvre, réunissant l'ensemble des titres administratifs nécessaires à la réalisation d'un projet IOTA. Sans cette autorisation, le commencement des travaux est interdit.

Le dossier d'autorisation environnementale reprend les éléments issus des dossiers précédents, en les précisant pour répondre aux exigences réglementaires du Code de l'environnement*, de manière détaillée, précise, technique et mesurable.

Ainsi, pour les projets d'infrastructure devant faire l'objet d'une autorisation au titre de la loi sur l'eau, le dossier d'autorisation environnementale rassemble l'autorisation loi sur l'eau et, lorsqu'elles sont nécessaires, l'autorisation de défrichement, la dérogation espèces protégées, l'étude d'incidence Natura 2000*, la modification de l'état d'une réserve naturelle*...

Volet loi sur l'eau

La nomenclature déterminée par l'article R214-1 du Code de l'environnement définit les opérations soumises à autorisation ou à déclaration préalable à leur mise en service. Les projets neufs sont ainsi quasi systématiquement soumis à une procédure de demande d'autorisation loi sur l'eau. Le dossier correspondant doit prendre en compte l'ensemble des impacts sur les milieux aquatiques y compris lors de la phase chantier et du fait de conditions exceptionnelles (ex. : pollutions accidentelles).

En termes de continuités écologiques, le projet doit notamment s'assurer de la libre circulation des organismes aquatiques (faune aquatique dont les poissons et faune semi-aquatique) vers les compartiments indispensables à l'accomplissement de leur cycle de vie* (alimentation, reproduction, repos, croissance),

du transport naturel des sédiments de l'amont à l'aval d'un cours d'eau et du bon fonctionnement des réservoirs biologiques (connexions et conditions hydrologiques favorables).

Volet espèces protégées

Le contenu du dossier de demande est détaillé dans les articles R.181-12 à R.181-15 du Code de l'environnement.

L'article L.411-2 du Code de l'environnement prévoit trois critères à satisfaire pour présenter toute demande de dérogation espèces protégées :

- le projet doit justifier de raisons impératives d'intérêt public majeur ;
- il doit justifier de l'absence d'autres solutions satisfaisantes ;
- la dérogation ne doit pas nuire au maintien dans un état de conservation favorable, des espèces dans leur aire de répartition naturelle.

Après avoir réalisé une évaluation précise de l'état initial des espèces concernées et quantifié les impacts, le porteur de projet doit ainsi démontrer (mesures ERC) que le projet assure le maintien des fonctionnalités écologiques du territoire impacté au regard des espèces protégées concernées (dynamique des populations et respect des connectivités entre elles).

L'acceptation éventuelle de la dérogation intervient après instruction par les services de l'État, dans le cadre de l'autorisation environnementale et après avis du Conseil national de la protection de la nature³ ou du Conseil scientifique régional du patrimoine naturel (instance composée d'experts scientifiques et techniques).

Même si cette procédure n'est engagée qu'après la déclaration d'utilité publique, les enjeux liés à la protection des espèces doivent être identifiés et pris en compte le plus en amont possible, notamment dans le cadre des différents dossiers préalables, de manière à dimensionner correctement les mesures. Dans certains cas, le porteur de projet peut même solliciter un premier avis du CNPN ou CSRPN à titre indicatif sur la base d'un dossier de principe.

³ La répartition des avis à produire entre le CNPN et le CSRPN (Conseil scientifique régional du patrimoine naturel) se fait en fonction de l'importance des espèces concernées (arrêté du 6 janvier 2020 fixant la liste des espèces animales et végétales à la protection desquelles il ne peut être dérogé qu'après avis du Conseil national de la protection de la nature).

Dans le cas contraire, la remise à niveau des mesures de protection peut s'avérer nettement plus complexe et engendrer des retards dans les plannings prévisionnels.

Volet Natura 2000*

Selon l'article L.414-4 du Code de l'environnement*, les programmes et projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagement soumis à un régime d'autorisation ou d'approbation administrative et susceptibles d'affecter (directement ou indirectement) de manière significative un site Natura 2000*, individuellement ou en raison de leurs effets cumulés, doivent faire l'objet d'une évaluation de leurs incidences au regard des objectifs de conservation du site.

Le contenu du dossier d'évaluation des incidences est fixé par l'article R.214-36 du Code de l'environnement.

À l'image du dossier de dérogation espèces protégées, le porteur de projet doit justifier de l'absence d'autres solutions satisfaisantes.

Cette évaluation est destinée à prévenir les atteintes aux objectifs de conservation des sites Natura 2000. L'évaluation doit ainsi permettre de déterminer et de quantifier les impacts d'un projet sur les objectifs de conservation de la totalité des habitats naturels et des espèces ayant conduit à la désignation du site et de présenter les mesures envisagées pour éviter les incidences notables du projet.

Dans le cas où malgré les mesures prévues, il subsiste des effets notables dommageables sur l'état de conservation des habitats naturels ou des espèces, le dossier doit présenter les raisons pour lesquelles il n'existe pas d'autre solution satisfaisante, les raisons impératives d'intérêt public justifiant le projet et les mesures compensatoires prévues pour assurer la cohérence globale du réseau Natura 2000 et leurs coûts. Toutefois, ces mesures compensatoires doivent rester exceptionnelles. Elles entraînent l'information de la Commission européenne, voire une demande d'avis dans certains cas.

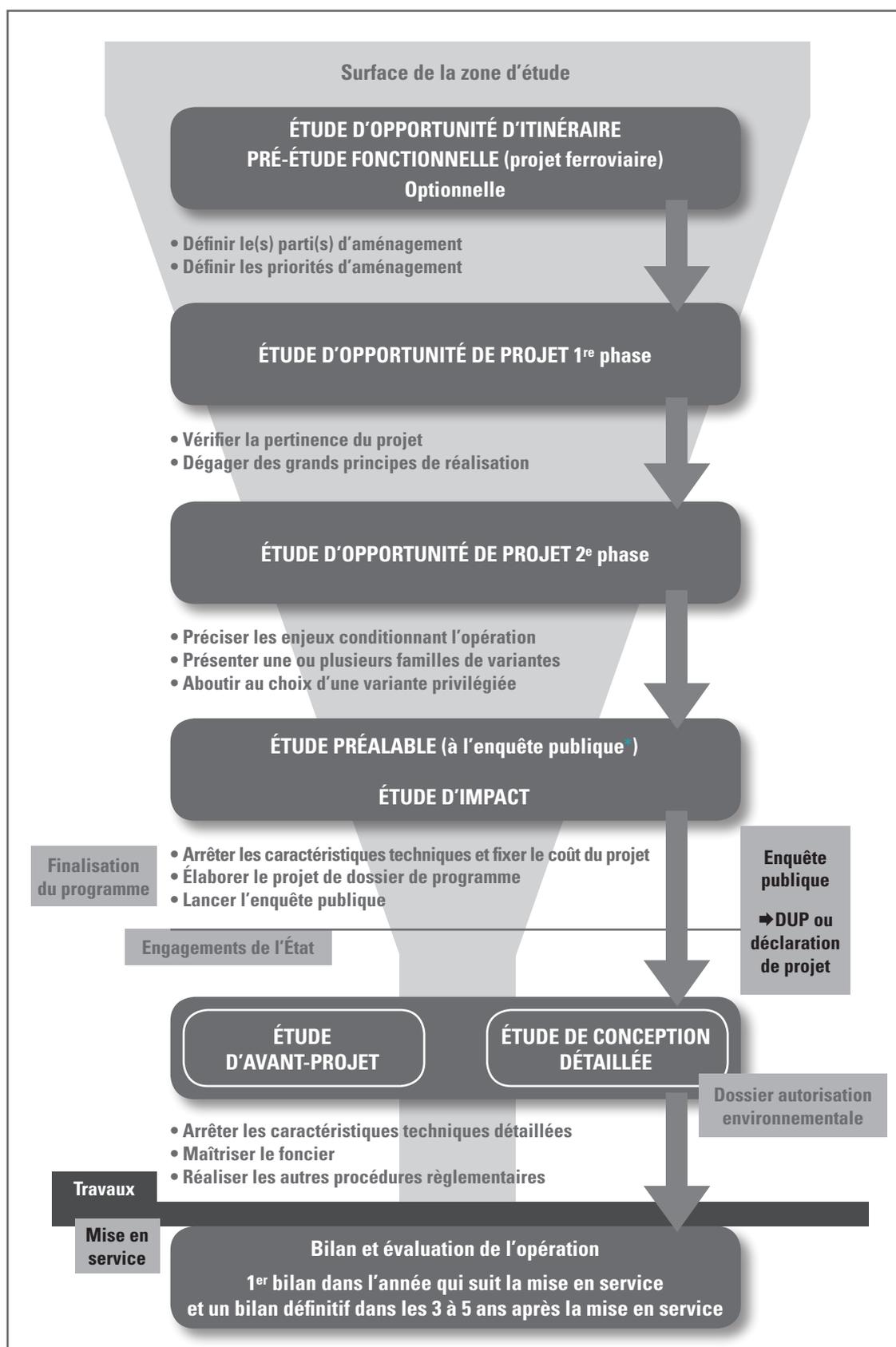


Schéma des différentes phases d'études, de concertation et de réalisation d'un projet routier sur le réseau national.
Source : ministère de la Transition écologique et solidaire, 2018.

S'assurer d'une bonne acceptation sociale des passages à faune

Les passages à faune sont des équipements coûteux et pour certains, très identifiables dans le paysage.

Les études et retours d'expérience montrent que l'acceptation par les acteurs locaux de la présence du passage à faune et la compréhension de son rôle et de sa légitimité font partie des critères de réussite du projet.

L'acceptation ou la non-acceptation peuvent se manifester de plusieurs manières et concernent soit le grand public, soit des acteurs spécialisés.

Coût de l'infrastructure

L'ouvrage peut apparaître illégitime pour une partie du grand public si son coût paraît disproportionné par rapport aux enjeux. En effet, d'une part, les passages à faune sont coûteux et d'autre part, le public est encore mal informé sur l'impact des infrastructures sur la biodiversité*, sur les conséquences pour les écosystèmes et *in fine* pour l'Homme. Il peut en résulter une incompréhension ou même un rejet de l'ouvrage, considéré comme une dépense inutile, voire somptuaire. Ce rejet se traduit souvent par une comparaison avec des dépenses aux effets positifs beaucoup plus facilement perceptibles par les populations (aides sociales...).

Une information très en amont, envers un très large public, peut permettre de désamorcer ce mécanisme. La comparaison du coût du passage, avec le coût de l'infrastructure dont il doit réduire l'impact, est aussi de nature à remettre les choses à leur juste proportion. Il est également nécessaire de rappeler que la biodiversité* n'est qu'un domaine parmi beaucoup d'autres sujets environnementaux qui concernent l'homme plus directement (bruit, eau...) et pour lesquels des investissements conséquents sont alloués.

Conflits d'usage potentiels

Les conflits d'usage peuvent concerner les forestiers, les agriculteurs, les randonneurs, les VTTistes ou autres sportifs et les chasseurs. Autrement dit, tous les acteurs voyant un intérêt à une utilisation humaine du passage.

Cet usage peut être totalement assumé dans le cas de passages mixtes qui intègrent dès le départ une utilisation pour la traversée des engins agricoles, grumiers ou randonneurs. Il s'agit de situations où l'utilisation par l'Homme est jugée compatible avec la fonctionnalité écologique.

Toutefois, si les acteurs locaux n'ont pas intégré la fonction écologique du passage, des dérives peuvent amener à une dégradation de cette fonctionnalité. Citons quelques cas réels :

- utilisation par les exploitants forestiers de l'espace large d'un écopont* comme zone de stockage de bois qui induit une réduction de l'attractivité du passage pour la faune ;
- positionnement par le locataire de la chasse locale, d'un mirador dans le prolongement d'un écopont qui limitera l'utilisation du passage par la grande faune.

Une communication à la fois large et ciblée sur des publics concernés doit permettre au moins pour partie d'éviter ces difficultés. Cette communication peut prendre différentes formes :

- dans le cas d'un projet neuf, le maître d'ouvrage a généralement l'occasion d'être en relation avec tous les acteurs considérés. La perméabilité écologique doit être intégrée dans son discours ;
- dans le cas de la création d'un passage sur ou sous une route existante, des démarches spécifiques de communication doivent être entreprises : publications dans les journaux locaux ou gazettes communales, réunions publiques, voire visites de terrain...

Une démarche particulière doit être menée envers les acteurs locaux, potentiels utilisateurs du passage. On peut aller plus loin, en associant certaines structures à la conception de la végétalisation du passage, voire en leur confiant l'entretien ou le suivi par voie de convention. Une charte peut alors être définie et signée entre les parties (préfecture, concessionnaire, propriétaires riverains, randonneurs, chasseurs, gestionnaires de l'ouvrage...) désignant les rôles de chacun dans la vie de l'ouvrage.

L'écopont d'A16RIF sur le réseau Sanef a par exemple fait l'objet, d'une part, d'une charte d'engagement des acteurs et d'autre part, d'une convention de gestion et de suivi avec la Fédération inter-départementale des chasseurs d'Île-de-France pour régler le sujet des conflits d'usage.

Dans certains cas, une démarche envers les scolaires locaux peut être pertinente. On peut citer à cet égard la démarche menée par Vinci Autoroutes avec la participation dans le cadre d'un chantier école d'un lycée agricole du département des Landes à la réalisation d'une grande mare étanche, sur l'écopont* de Peyreharasse de l'autoroute A64 et la visite d'une école sur ce même site en 2017, en partenariat avec le CPIE Seignanx Adour et la Fédération de chasse des Landes.

Enfin, les associations locales de protection de la nature méritent d'être associées à ces démarches, elles peuvent en effet grandement faciliter l'appropriation locale.



Participation d'une école aux plantations effectuées sur l'écopont de l'autoroute A10 de la forêt de la Lande. Source : Vinci Autoroutes/Réseau ASF.



PARTIE



D E U X I È M E P A R T I E

1. Les passages à faune sur les nouveaux projets d'infrastructures

1.1. Les passages toute faune

FICHES

- 5 Où construire un passage toute faune* ?
- 6 Quel type de passage toute faune choisir ?
- 7 Comment dimensionner le passage ?
- 8 Comment concevoir et aménager les passages toute faune ?
- 9 Quels sont les différents types de constructions ? Pour quel coût ?

1.2. Les passages et aménagements pour la petite faune

FICHES

- 10 Où construire des passages petite faune ?
- 11 Comment aménager les petits ouvrages hydrauliques pour la petite faune ?
- 12 Comment aménager des ouvrages agricoles/forestiers/piétons pour la petite faune ?
- 13 Comment aménager des passages spécialisés (passage amphibiens – passage canopée) ?
- 14 Comment aménager des passages petite faune non spécialisés ?

LES PASSAGES À FAUNE, UNE MESURE EFFICACE POUR RÉTABLIR LES CONNECTIVITÉS TRANSVERSALES

2. Sur les infrastructures existantes – Requalification

2.1. L'aménagement d'ouvrages en place

FICHES

- 15 Comment améliorer la fonctionnalité des passages faune existants ?
- 16 Comment favoriser le passage de la petite faune sur les ouvrages existants non dédiés à la faune ?

2.2. Construction d'ouvrages neufs

FICHES

- 17 Où et comment construire un passage toute faune sur une infrastructure existante ?
- 18 Comment créer un passage petite faune* sur une infrastructure existante ?

2.3. Autres aménagements

FICHES

- 19 Quels sont les dispositifs avertisseurs (faune et/ou véhicules) permettant de limiter les collisions ?

1 Les passages à faune sur les nouveaux projets d'infrastructures

L'aménagement d'un passage pour la faune a pour objectif de réduire l'impact sur les corridors écologiques en rétablissant une partie des connectivités susceptibles d'être interrompues par le passage d'une nouvelle infrastructure.

Les passages à faune permettent ainsi de :

- limiter la fragmentation des habitats et des populations animales ;
- participer au maintien des processus écologiques et au fonctionnement en métapopulation*, en assurant des possibilités d'échange et de brassage génétique entre les populations (dispersion des jeunes ou des adultes vers d'autres territoires, émigration d'individus) ;
- rétablir les déplacements quotidiens à l'intérieur du domaine vital* des espèces en maintenant par exemple l'accès à certaines ressources (ex. : alimentation, zone de reproduction...) ;
- maintenir les possibilités de déplacement des espèces en migration* (ex. : saisonnières) ;
- assurer le franchissement de l'infrastructure par la faune en toute sécurité, lorsqu'ils sont associés à un dispositif de contention et de guidage adaptés à la faune considérée (clôtures, barrières, écrans...) ;
- limiter les accidents de la circulation.

Si la réalisation des passages à faune permet en un point donné de rétablir certaines connectivités, les espèces n'utilisent pas toutes spontanément l'ouvrage. Un temps d'adaptation plus ou moins long est nécessaire en fonction des espèces pour qu'elles intègrent l'ouvrage à leur habitat et à leurs habitudes. Ce temps est à la fois nécessaire aux animaux pour qu'ils puissent localiser les ouvrages et qu'ils puissent se sentir suffisamment en sécurité pour les emprunter. Un délai est également nécessaire pour que l'habillage écologique (plantations) parvienne à son stade fonctionnel (couvert dense des zones de haies ou houpier* suffisamment élevé, etc.). Le suivi du passage à faune (répondant notamment à l'obligation de résultat de la mesure) permet d'en vérifier la fréquentation.

Les passages à faune ne permettent cependant pas, même sur le long terme, de compenser la totalité des échanges perdus le long de l'infrastructure en particulier pour les espèces ayant des faibles capacités de déplacement.

Logiquement, l'optimisation de cette transparence nécessite d'augmenter le nombre d'ouvrages, en particulier les passages de grande largeur. Ces ouvrages représentent cependant un coût financier important qui empêche leur multiplication (cf. chapitre 3.4. Garantir une acceptation sociale). **La recherche du meilleur compromis entre contraintes écologiques (atteindre un gain maximal de connectivité) et contraintes économiques (proportionnelles au nombre et à la taille des passages) est donc un préalable indispensable à la réflexion.**

La recherche de ce compromis est basée à la fois sur la hiérarchisation préalable des enjeux et la capacité de répondre de façon adaptée à ces enjeux grâce à l'utilisation de différentes catégories d'ouvrages.

Au-delà de l'aspect financier, les arguments justifiant l'implantation d'un ouvrage et ses dimensions doivent intégrer des données liées aux habitats et aux espèces ainsi qu'aux fonctions que doit remplir l'aménagement pour la faune.

Globalement, il faut distinguer deux grandes catégories de passages :

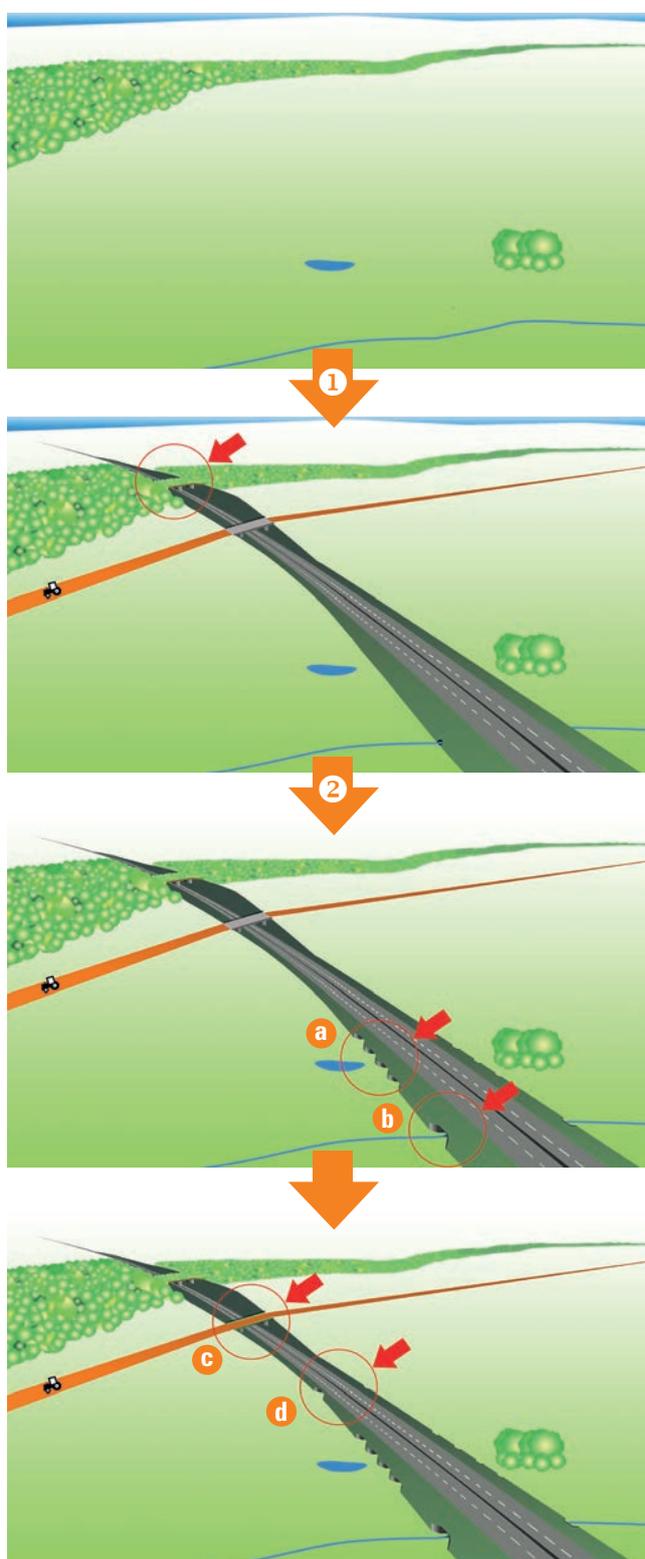
- **les passages de grande taille appelés « TOUTE FAUNE », car réservés aux enjeux les plus importants. Ils permettent globalement le passage d'un maximum d'espèces de la grande et petite faune ;**
- **les passages « PETITE FAUNE » qui permettent d'assurer un minimum de transparence pour les petits animaux sur l'ensemble de l'infrastructure.**

Dans le cadre d'un projet neuf d'infrastructure, le rétablissement des transparences écologiques par la construction d'ouvrages à faune suit globalement une certaine logique marquée par deux grandes étapes :

❶ La première étape vise généralement à définir et à localiser les ouvrages de grande taille (assurant le passage de la grande et petite faune) en fonction des principaux enjeux identifiés : localisation, taille, caractéristiques...

❷ C'est seulement une fois les ouvrages les plus importants positionnés, que le maître d'ouvrage complétera son projet par la recherche d'ouvrages secondaires de rétablissement pour le passage des petits animaux :

- en commençant par aménager tous les ouvrages hydrauliques (a) pour qu'ils soient franchissables ;
- en complétant par des passages spécifiques (b) au droit des enjeux d'espèces de la petite faune (ex. : amphibiens, petites espèces protégées...) ;
- en ajoutant des possibilités supplémentaires de franchissements par l'aménagement d'ouvrages prévus pour d'autres usages (c), ou la construction de passages petite faune supplémentaires (d). L'objectif final étant de disposer en moyenne d'une possibilité de franchissement adapté pour la petite faune tous les 300 m.



Source : Cerema.

FICHES 5 À 10

FICHES 11 ET 12

FICHES 13 ET 14

1.1 Les passages toute faune

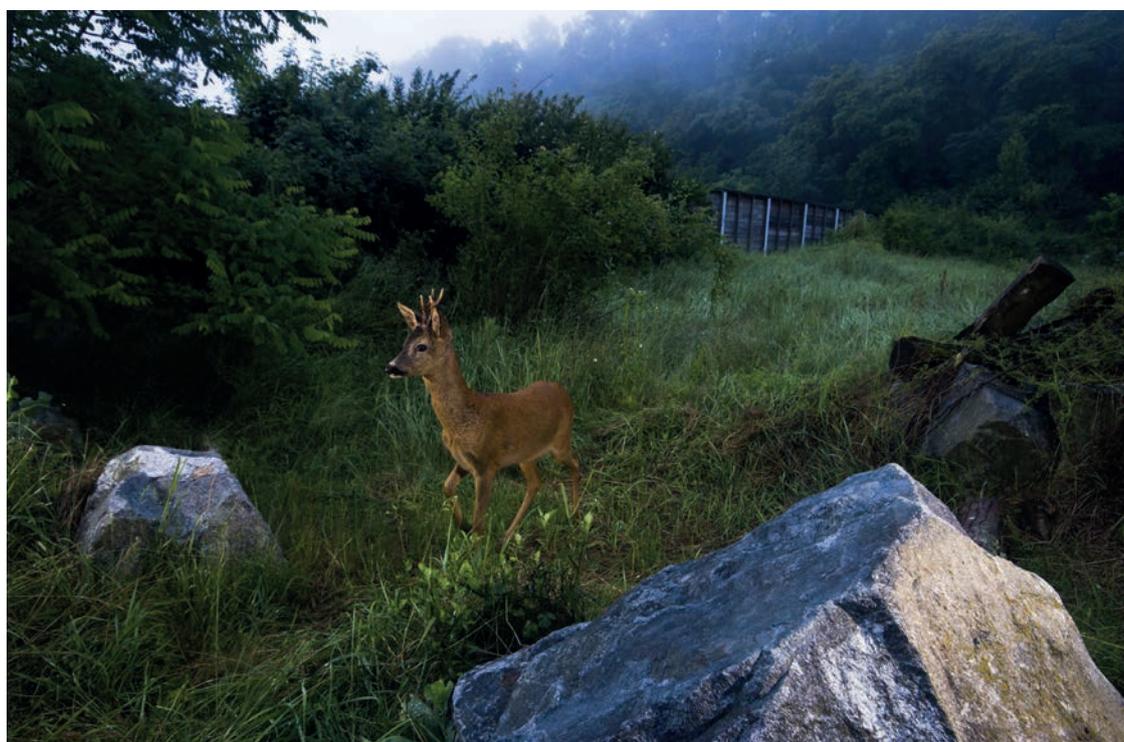
Sauf exception, les passages toute faune (20 mètres de large et plus) sont réservés aux grandes infrastructures de type voies ferrées ou infrastructures routières de grande largeur (2x2 voies et plus) qui sont généralement associées à des dispositifs de barrières physiques (clôtures barrières...) empêchant la faune de traverser l'infrastructure.

Les choix d'implantation d'un passage pour la faune et ses caractéristiques sont complexes. Ainsi, même si des recommandations ou des règles de l'art peuvent être éditées, il est difficile de définir des normes réglementaires trop précises sur le nombre et la localisation des passages à faune

sur ces infrastructures, car elles dépendent à la fois de l'intérêt écologique des milieux traversés, des obligations réglementaires (SRCE/SRADDET, espèces protégées), de la faisabilité technique, de son acceptation par l'ensemble des acteurs concernés et du coût des ouvrages.

L'objectif reste que ces mesures soient à la fois réalisables, efficaces et économiquement acceptables.

L'efficacité⁴ d'un passage dépend, quant à elle, à la fois de sa position dans le paysage, du type d'ouvrage, de ses caractéristiques et de son aménagement (comprenant les abords).



Source : © Photothèque VINCI Autoroutes – Emmanuel Rondeau.

4 L'efficacité reste une notion difficile à mesurer. Si elle fait souvent référence à l'utilisation de l'ouvrage par l'espèce (sa fréquentation), elle est plutôt à mettre en lien avec son utilité relativement à une fonction vitale de l'espèce ou au maintien de sa population (sa fonctionnalité).



Autoroute A6 : parmi les tout premiers passages au monde construits pour la faune

C'est en 1954 que le ministre des Travaux publics annonce le lancement d'un premier programme national de construction d'autoroutes. Le Conseil général des ponts-et-chaussées est alors chargé de proposer un projet de réseau d'infrastructures à réaliser en priorité. L'État retient officiellement le principe d'une autoroute continue entre Paris, Lyon et Marseille. Construite en grande partie dans la décennie 1960-1970, l'autoroute A6 qui relie Paris à Lyon est ainsi l'une des premières autoroutes de liaison françaises.

Lors de la conception du projet, certains tronçons ont toutefois donné lieu à de nombreuses résistances et difficultés, notamment pour la traversée du massif forestier de Fontainebleau, car de nombreux opposants souhaitaient qu'il soit évité. Cependant, après plus de dix ans de batailles, les solutions et arbitrages ont finalement maintenu la traversée de cette forêt.

En contrepartie, une attention toute particulière a été apportée aux vallons des Cavachelins et de la Vallée Chaude (commune de Noisy-sur-École), car ils constituent deux cheminements essentiels entre l'est et l'ouest du massif. Ainsi, ces vallons ne sont pas franchis par des remblais élevés, mais par deux viaducs d'une longueur totale de 200 mètres, afin de permettre les échanges de part et d'autre de l'autoroute, aussi bien pour les promeneurs que pour les animaux.

Construits entre 1960 et 1962, ces ouvrages sont les deux premiers passages à faune européens et parmi les tout premiers passages à faune au monde, après ceux construits en Floride pour l'ours en 1955. Cette autoroute A6 et ces deux viaducs sont actuellement exploités par la société APRR.



Autoroute A6 dans la traversée du massif de Fontainebleau en 1963. Source : Archives nationales, WikiSara.



Vallée Chaude avant le passage de l'infrastructure. Source : Archives nationales (cote 19771464/41), WikiSara.



Viaduc des Cavachelins. Source : Vincent Vignon/OGE.



Viaduc de la Vallée chaude. Source : Vincent Vignon/OGE.

Au cours des années 1960, la construction de l'autoroute A6 avait provoqué une émigration des cerfs à l'Est du projet vers le département de l'Essonne. En 2015, une étude génétique réalisée sur les cerfs autour de Paris a montré une différenciation génétique significative de part et d'autre de l'A6, mais de second rang, dans la structuration des populations observée en Île-de-France : une rupture vraisemblablement atténuée par l'utilisation des viaducs (Vignon & Suez, 2017).

FICHE

5

Où construire un passage toute faune* ?

En priorité au droit des continuités écologiques présentant des enjeux forts

Trois grandes étapes préalables :

1 Identification des continuités écologiques interrompues

Un passage toute faune est avant tout recommandé lorsque l'infrastructure interrompt des continuités écologiques de grand intérêt ou en raison de la coupure de corridors d'espèces nombreuses ou particulières (patrimoniales, d'intérêt cynégétique* majeur).

Un projet d'infrastructure doit en premier lieu s'attacher à prendre en compte et maintenir les continuités écologiques identifiées dans le cadre du SRCE/SRADEET.

Si la trame verte et bleue* régionale fournit des informations sur la présence de continuités écologiques, elle n'est toutefois identifiée dans le SRCE qu'à l'échelle de 1/100 000^e, une échelle qui ne permet pas de différencier finement les continuités à maintenir à l'aune d'un projet. Dans le cadre d'un projet neuf, ces cartes du territoire traversé nécessitent d'être précisées à une échelle plus fine, de 1/25 000^e à 1/5 000^e, afin de rendre compte des structures paysagères ayant un rôle dans le déplacement des espèces (attention, le diagnostic local sur les continuités ne peut en aucun cas correspondre à un zoom des cartes du SRCE/SRADEET).

Par ailleurs, l'absence de corridor reconnu au niveau régional dans le SRCE ne signifie pas nécessairement l'absence d'enjeux plus locaux. Des continuités écologiques plus diffuses, non identifiées dans les travaux régionaux ou **sur un territoire plus réduit et non perceptibles à l'échelle du SRCE/SRADEET peuvent être présentes et doivent être intégrées à la réflexion.**

Lorsqu'elles ne sont pas connues ou sont insuffisamment localisées, la difficulté réside alors dans l'identification précise de ces continuités.

L'identification et la matérialisation des continuités écologiques fonctionnelles d'importance sur un territoire donné sont généralement effectuées :

- soit par une approche espèce. Pour des passages toute faune, on s'attache essentiellement aux espèces patrimoniales, cynégétiques*, clés de voûte, parapluie (espèces exigeantes dont la protection permet la préservation des espèces moins exigeantes) ou encore à certains cortèges d'espèces (espèces ayant les mêmes traits de vie). Il s'agit d'identifier les milieux de vie des espèces (alimentation, reproduction, repos) et les éléments (contigus ou non) supports de déplacements des espèces ou des cortèges ciblés ;
- soit par une approche milieu (forêts, bocages, milieux ouverts...) qui permet de simplifier l'analyse. L'objectif est d'identifier l'ensemble des éléments ou structures du paysage favorables, nécessaires au fonctionnement des écosystèmes traversés (cf. fiche 2).

Dans tous les cas, ces approches doivent également tenir compte des connaissances existantes sur le territoire et notamment des espaces protégés (ex. : site Natura 2000*, réserves naturelles...) ou périmètres d'alerte (ZNIEFF...). Ces espaces permettent d'apporter des éléments d'analyse à la hiérarchisation des continuités.

2 Identification des continuités nécessitant un rétablissement par un passage toute faune

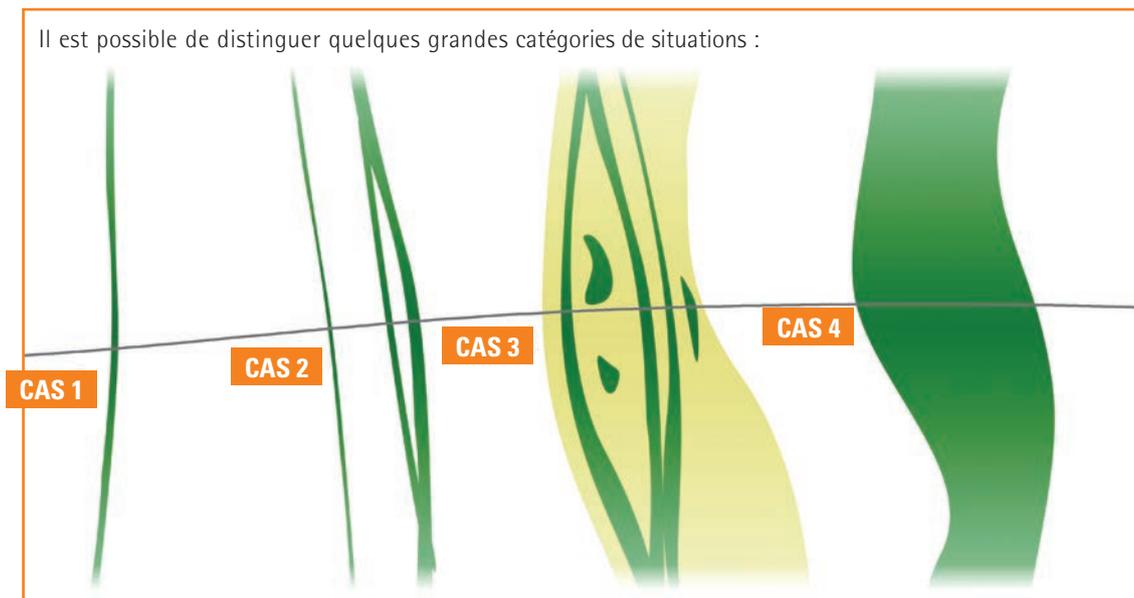
L'insertion d'un passage à faune dans le paysage conditionnera une grande partie de son efficacité. Il est ainsi logiquement conseillé de positionner les passages au droit des principaux réseaux écologiques identifiés et interrompus par l'infrastructure, si on souhaite une efficacité optimale. Les continuités traversées peuvent cependant s'avérer nombreuses et il n'est pas toujours possible de les rétablir en totalité.



Une moyenne d'une possibilité de passage toute faune tous les 2 km est ainsi recommandée (1-3 km dans les habitats bien conservés, 3-5 km dans les habitats dégradés).

Le choix des continuités qui bénéficient d'un ouvrage se fait alors en fonction de l'intérêt de chacune, de leur répartition dans le paysage et des contraintes existantes. Il ne s'agit pas non plus d'exclure une fréquence de passages plus élevée si les enjeux le justifient.

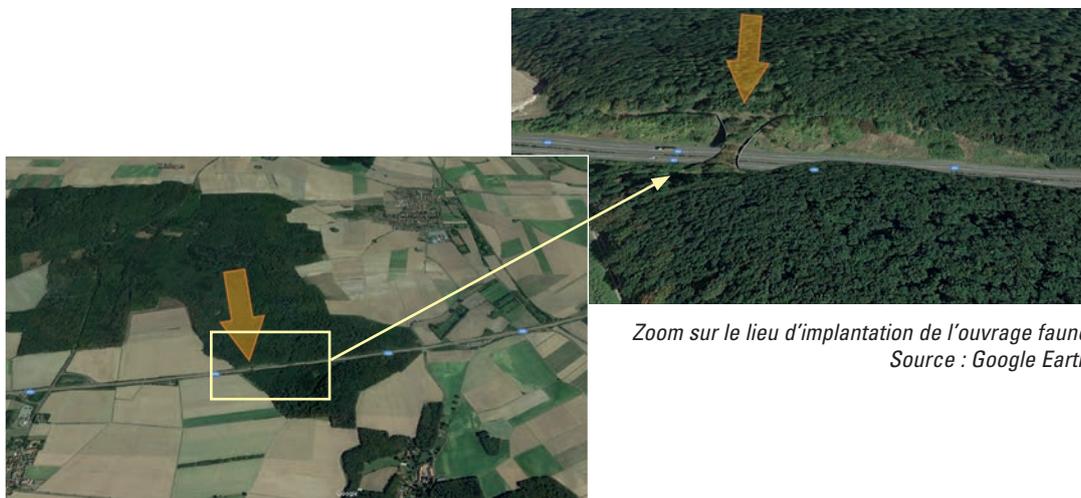
Il est possible de distinguer quelques grandes catégories de situations :



① Représentation schématique des catégories de continuités écologiques. Source : Cerema.

CAS 1

Les continuités sont très localisées, bien différenciables et relativement espacées. C'est généralement le cas dans les environnements très contrastés comme un cordon boisé situé au sein d'une zone cultivée. L'ouvrage doit naturellement être proposé au droit de cette continuité.

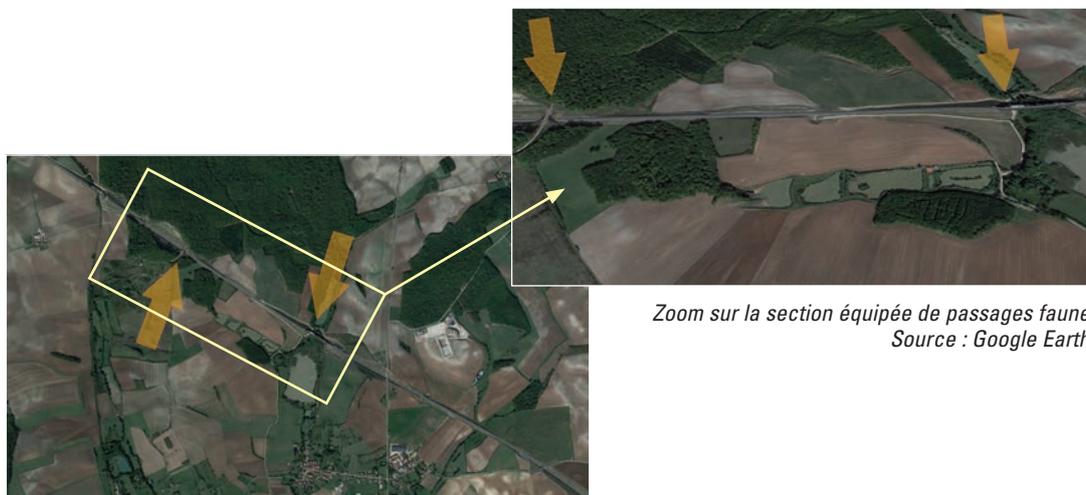


Zoom sur le lieu d'implantation de l'ouvrage faune. Source : Google Earth.

Exemple de continuité écologique localisée. Source : Google Earth.

CAS 2

Les continuités sont également bien identifiables, mais relativement proches les unes des autres. On rétablira alors en priorité les corridors présentant le plus grand intérêt en complétant éventuellement par d'autres ouvrages, afin d'assurer une perméabilité globale suffisante.



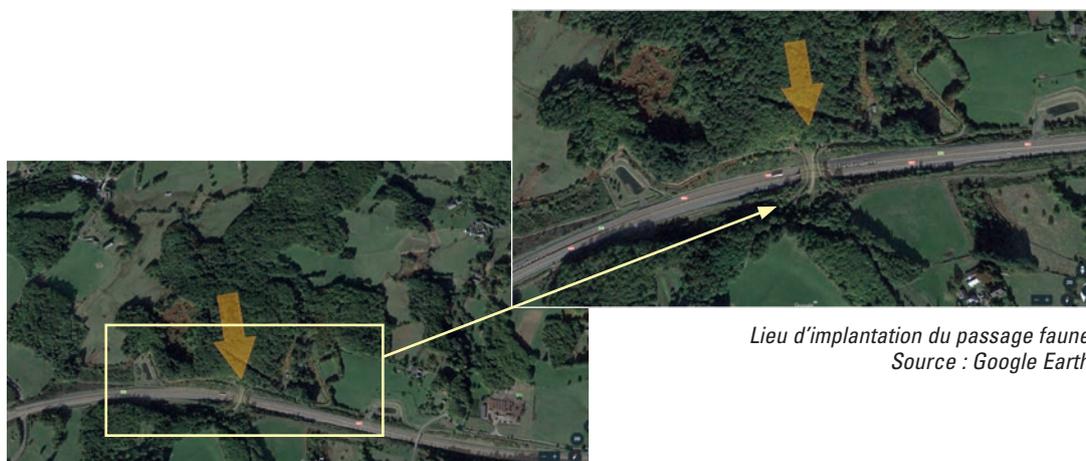
Zoom sur la section équipée de passages faune.
Source : Google Earth.

Exemples de continuités écologiques proches.
Source : Google Earth.

CAS 3

Il s'agit de vastes corridors, notamment lorsque l'infrastructure traverse des espaces riches et diversifiés constituant une mosaïque de milieux.

Il faudra alors identifier les éventuelles structures paysagères secondaires qui supportent au mieux les déplacements d'espèces, en particulier d'espèces cibles. Dans ces conditions, la répartition régulière des ouvrages sera toutefois plus aisée et souvent guidée par les contraintes techniques locales.

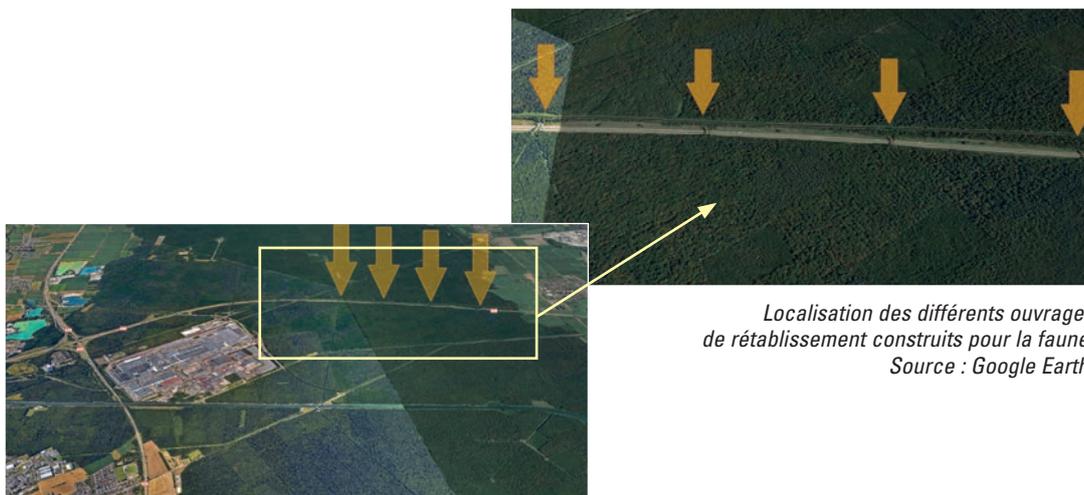


Lieu d'implantation du passage faune.
Source : Google Earth.

Exemple de vastes continuités écologiques dans un espace riche et diversifié. Source : Google Earth.

CAS 4

Il s'agit d'un vaste milieu homogène constituant en soi une continuité d'intérêt. Les conditions de rétablissement seront dans ce cas essentiellement guidées par les composantes secondaires de la trame concernée et par les caractéristiques techniques du projet (profil en long...) (cf. ③ ci-après).



Localisation des différents ouvrages de rétablissement construits pour la faune.
Source : Google Earth.

Continuité écologique constituée par un vaste milieu homogène.
Source : Google Earth.

③ Prise en compte des enjeux secondaires pour préciser la position optimale des ouvrages

Les continuités peuvent parfois s'avérer assez larges et les possibilités d'implantation assez nombreuses au sein même de la continuité que l'on souhaite rétablir. Dans ce cas, en dehors de la prise en compte des contraintes techniques, la localisation précise s'appliquera à positionner l'ouvrage au regard des intérêts plus locaux (②) comme la présence d'un talweg, la qualité du milieu, l'existence d'un espace protégé...



② Exemple (fictif) de prise en compte des enjeux secondaires au sein d'une vaste continuité écologique. Source : Geoportail.

Dans les habitats ordinaires pour assurer une perméabilité globale suffisante

L'écologie du paysage a démontré qu'une approche essentiellement basée sur la protection des habitats à enjeux ne suffit pas à préserver et restaurer la diversité biologique, car tous les systèmes qui constituent la trame paysagère sont reliés et évoluent. C'est sur ce principe que se base le concept de la trame verte et bleue* qui consiste à préserver ou à restaurer des continuités écologiques sur l'ensemble du territoire, afin de maintenir un fonctionnement écologique cohérent.

La notion de transparence globale de l'infrastructure doit être considérée en ce sens également.

Ainsi, même si a priori l'analyse du territoire ne justifie pas l'implantation d'un passage toute faune au regard des enjeux locaux (absence d'enjeux écologiques forts et localisés), un ouvrage de grande taille doit malgré tout être envisagé dans certaines situations.

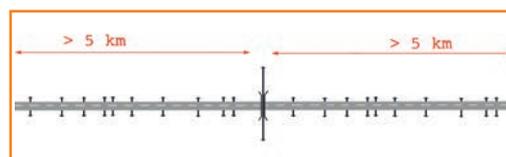
C'est ainsi le cas lorsque les enjeux de biodiversité* sont faibles et/ou diffus sur le territoire et que :

- il n'y a aucune possibilité de franchissement pour la faune (même la petite faune) sur plus de trois kilomètres. C'est ainsi parfois le cas, lorsque les caractéristiques de l'infrastructure (ex. : section en déblai) ne permettent pas ou difficilement l'implantation de passages petite faune. Un passage toute faune (dit « supplémentaire ») doit alors être réalisé sur la section en question ;

- l'infrastructure est dotée de possibilités de passages pour la petite faune mais pas de passage toute faune sur plus de 5 kilomètres (③).

Dans ce cas, pour respecter les interdistances minimales précédentes, il est recommandé :

- soit de prévoir un gabarit toute faune (15 m de largeur minimum) pour un ouvrage de rétablissement de type agricole lorsqu'il est prévu sur la section ;
- soit en l'absence totale d'ouvrage, d'implanter un ouvrage supplémentaire spécifique (7 m de large : cf. fiche n° 7 « Comment dimensionner le passage ? »).



③ Représentation schématique de l'implantation d'un passage toute faune sur une section d'infrastructure équipée de passages petite faune et ne présentant pas d'enjeu fort.

Ces dispositions sont essentielles pour rendre l'infrastructure plus résiliente, notamment face aux changements climatiques, pour préserver l'avenir et ainsi garantir sa franchissabilité pour des espèces qui ne sont pas encore présentes.

Ces dispositions peuvent ainsi conduire à créer des passages toute faune dans des milieux plus ordinaires, mais tout autant stratégiques pour préserver les continuités écologiques sur les moyen et long termes (④).



④ Exemple de l'ouvrage de Munt – Belgique.



Sources : photo 1 : Google Earth, photo 2 : Omgeving.

Une localisation tenant aussi compte des contraintes techniques et des autres ouvrages de rétablissement

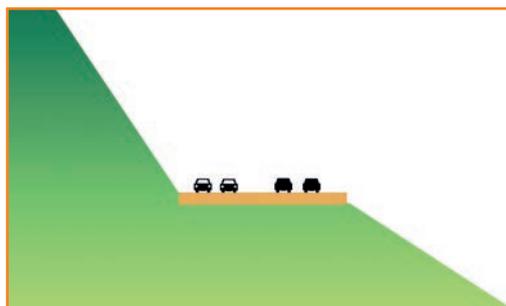
Prise en compte des contraintes techniques

Si la localisation par rapport aux enjeux est bien une priorité, le choix de l'implantation d'un ouvrage dans le prolongement des continuités initialement identifiées n'est pas toujours judicieux, car techniquement difficile, trop coûteux voire finalement peu efficace pour la faune.

■ Prise en compte du profil en long et de la topographie du terrain

La construction d'un ouvrage est facilitée sur les sections avec un profil en long présentant un déblai ou un remblai suffisant et homogène de chaque côté de l'infrastructure, car la conception y est généralement simplifiée et moins coûteuse. Malheureusement, lorsque la programmation d'un ouvrage n'est pas intégrée suffisamment tôt dans la réflexion ou que les caractéristiques du projet ne le permettent simplement pas, le profil en long et la topographie locale ne sont pas toujours favorables au droit des continuités écologiques à rétablir.

Les profils rasants (au niveau du terrain naturel), la vision surplombante de l'autoroute ou encore un profil mixte marqué (déblai, remblai) (5) offrent ainsi des situations complexes augmentant l'effet répulsif du passage ou rendant économiquement plus difficile la construction d'un ouvrage.



5 Exemple schématique d'un profil mixte marqué où l'insertion d'un ouvrage est complexe. Source : Cerema.

En cas de difficultés, l'ouvrage pourra, **sur justifications**, être légèrement décalé (< 500 m) par rapport aux continuités écologiques initiales, afin de trouver des profils plus adaptés. Ces solutions sont toutefois dépendantes des enjeux en présence. Aussi, lorsque ces derniers sont importants, le choix d'un ouvrage techniquement plus compliqué et plus coûteux peut s'avérer justifié.

Le décalage d'un ouvrage par rapport aux continuités nécessite par ailleurs des aménagements complémentaires indispensables pour que l'ouvrage reste écologiquement fortement connecté au corridor interrompu.

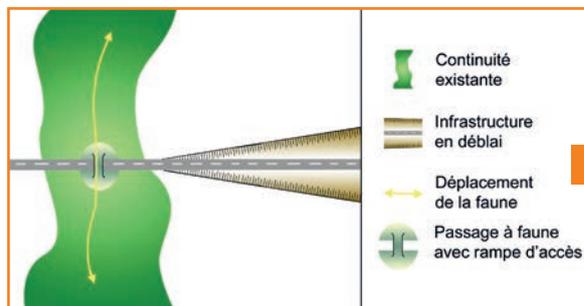
Il s'agit en l'occurrence de réserver et d'aménager un corridor le long de l'infrastructure jusqu'à l'ouvrage (7 et 9 page suivante).

Pour un décalage de **0 à 250 m**, nous recommandons une largeur **au moins égale à la largeur** de l'ouvrage. Cette valeur peut toutefois être revue et précisée en fonction d'études spécifiques sur le comportement des cortèges d'espèces potentiellement présents ou avérés et susceptibles d'utiliser l'ouvrage.

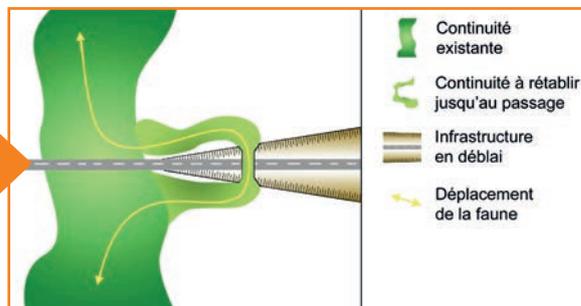
Exemple : pour un corridor d'intérêt local avec déplacement de cervidés, pour lequel il est nécessaire de réaliser un ouvrage mixte de 30 m (cf. fiche n° 7 « Comment dimensionner le passage ? »), la largeur du corridor latéral de reconnexion doit être au moins de cette largeur.

De la même manière en l'absence d'études spécifiques, pour un décalage **de 250 à 500 m**, la largeur du corridor latéral de reconnexion devra être égale à **au moins 2 fois la largeur** de l'ouvrage.

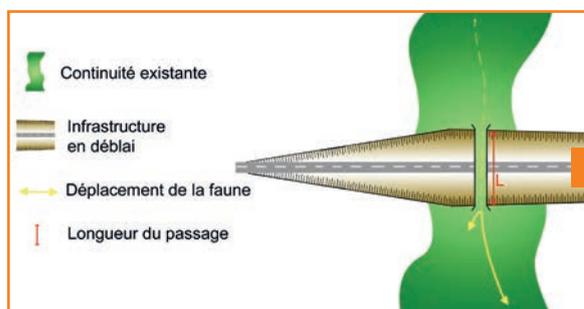
Ce corridor doit nécessairement être constitué d'habitats favorables équivalents aux milieux constituant la continuité interrompue. Les talus ne peuvent être considérés comme partie intégrante de ce réseau écologique que si les habitats qui y sont reconstitués sont favorables et faciles d'accès (absence de clôture, faible pente...).



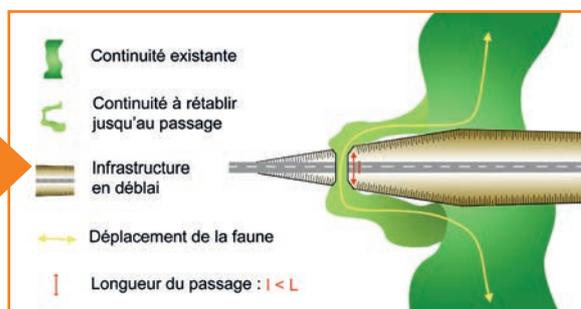
6 Infrastructure au niveau du terrain naturel nécessitant l'aménagement d'un ouvrage avec une rampe d'accès pour la faune. Source : Cerema.



7 Décalage de l'ouvrage sur une section en déblai facilitant l'aménagement d'un passage. Source : Cerema.



8 Infrastructure en fort déblai induisant une grande longueur de traversée sur le passage. Source : Cerema.



9 Décalage de l'ouvrage sur une section en moins fort déblai facilitant l'aménagement d'un passage. Source : Cerema.

Par ailleurs, pour que ces aménagements complémentaires puissent être pérennes, une sécurisation foncière et une politique d'entretien durable et adaptée devront y être assurées (achat, convention de gestion...).

■ Contraintes physiques situées de part et d'autre de l'infrastructure

Afin de s'assurer de la fonctionnalité des ouvrages, il est indispensable de veiller à l'absence de contrainte(s) existante(s) ou future(s) (ex. : développement d'activités) susceptibles de perturber ou d'empêcher la fonctionnalité de la transparence à rétablir. Pour faire simple, un ouvrage ne doit pas déboucher sur l'une ou l'autre de ces contraintes et doit être positionné dans un environnement qui reste favorable à la faune au-delà des emprises. Une consultation des documents d'urbanisme locaux est un préalable indispensable.

Ces contraintes peuvent être d'ordre :

- **naturel** : présence de falaises, d'un cours d'eau de grande largeur parallèle à l'infrastructure... ;
- **anthropique** : présence d'une zone bâtie, d'un canal, d'une route (10), d'une voie ferrée...

Au-delà des contraintes existantes, il faudra également tenir compte des projets futurs dont on peut avoir connaissance ou qui sont forts probables (ex. : zones constructibles, autre infrastructure...). L'implantation d'un ouvrage débouchant sur un obstacle* nécessite de traiter à la fois la franchissabilité de l'infrastructure et de l'obstacle. Ce cas sera d'autant plus important à traiter que la distance entre l'infrastructure et le second obstacle est courte et que, de fait, les espaces entre ces deux derniers sont trop faibles pour constituer des habitats naturels relais pour les espèces cibles.



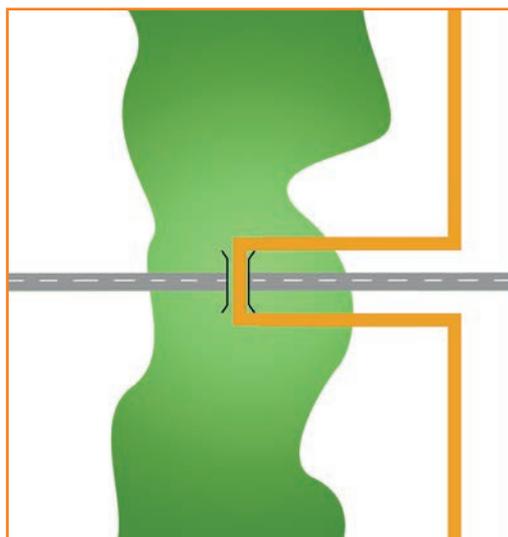
10 Passage à faune débouchant sur une infrastructure. Source : Google Earth.

Recherche de complémentarité avec le rétablissement d'autres usages (chemin agricole/forestier/piéton)

Les passages à faune peuvent avoir une fonction associée. Ils peuvent ainsi être réalisés en complémentarité avec un rétablissement hydraulique, agricole ou forestier, voire piétonnier, pour des raisons d'économie. Cette recherche de mixité oriente alors souvent la localisation des ouvrages.

Si pour un rétablissement forestier ou hydraulique la question ne se pose pas réellement, car ils se rencontrent généralement au sein même des continuités écologiques, les rétablissements agricoles ne sont pas intuitivement calés sur celles-ci.

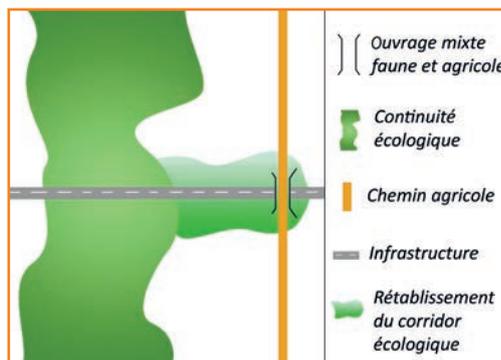
Pour ces ouvrages, lorsque c'est possible et que l'augmentation du cheminement agricole est raisonnable, la priorité sera donnée aux continuités écologiques initiales et les passages agricoles seront réalisés dans le prolongement des corridors (11).



11 Déplacement du rétablissement agricole au droit de la continuité écologique. Source : Cerema.

Si ce n'est pas possible et si l'on choisit de décaler l'ouvrage par rapport à la trame paysagère supportant les enjeux écologiques de déplacement,

l'ouvrage devra s'accompagner impérativement de mesures spécifiques de reconnexion des structures séparées jusqu'au passage (création d'un corridor le long de l'infrastructure) (12 et 13).



12 Représentation schématique d'un ouvrage décalé par rapport à la continuité écologique et nécessitant le rétablissement d'un corridor naturel jusqu'à l'ouvrage. Source : Cerema.

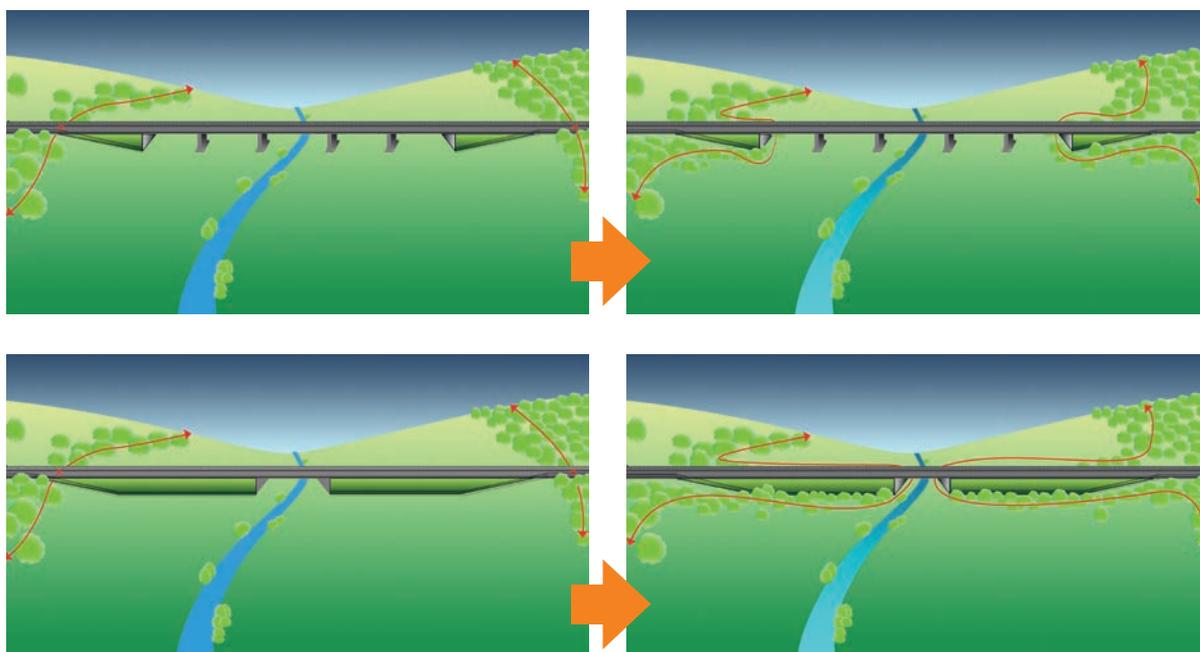
À l'image du décalage d'un ouvrage pour des raisons techniques (profil en long), la largeur du corridor latéral de reconnexion doit, en l'absence d'études spécifiques, être égale :

- à la largeur de l'ouvrage (cf. page précédente) lorsque le corridor et l'ouvrage sont distants de 0 à 250 m ;
- à 2 fois la largeur de l'ouvrage lorsqu'ils sont distants de 250 à 500 m.

Il faut également avoir conscience que l'efficacité d'un passage pour la faune est souvent restreinte lorsque le passage est de taille modérée et qu'il est également emprunté par l'Homme.



13 Ouvrage décalé par rapport au massif boisé, mais qui reste connecté à la continuité forestière. Source : Google Earth.



14 Dans les vallons encaissés, les coteaux souvent boisés nécessitent de prendre des mesures pour reconnecter ces cordons boisés aux ouvrages de franchissement hydraulique. Source : Cerema.

Les cours d'eau et leur ripisylve* sont des corridors privilégiés. La mixité des ouvrages hydrauliques avec un passage faune est bien souvent une évidence. Il arrive toutefois que les coteaux des talwegs constituent en soi des continuités boisées parallèles au cours d'eau mais éloignées de ce dernier. La réalisation de plusieurs ouvrages au droit de chaque corridor étant le plus souvent difficile à justifier, il est conseillé un seul ouvrage de plus grande dimension au droit de la continuité hydraulique, en assurant toutefois la connexion avec les corridors boisés situés sur les coteaux (14).

Positionnement en fonction d'autres passages à faune à proximité

C'est en particulier le cas lorsque :

- le projet est jumelé à une autre infrastructure et que celle-ci possède déjà un ouvrage de rétablissement. Dans ce cas, et si l'ouvrage de la première infrastructure est fonctionnel, un ouvrage de rétablissement est nécessairement calé dans le prolongement (ou au plus proche) de l'ouvrage existant. Il est alors souhaitable que le nouvel ouvrage présente des caractéristiques au moins aussi favorables à la circulation de la faune que le passage préexistant (15 et 16) ;



15 Infrastructures jumelées sur chacune desquelles un ouvrage de taille équivalente a été construit. Source : Google Earth.

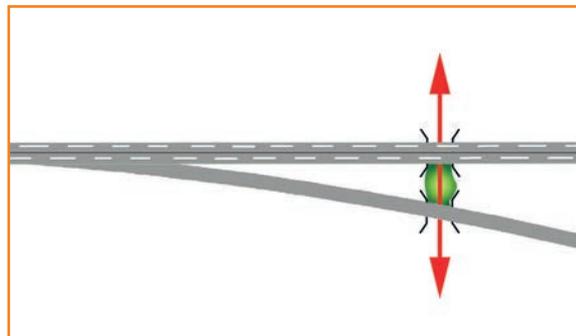


16 Infrastructures jumelées où les passages à faune de l'infrastructure routière sont situés dans le prolongement du tunnel ferroviaire. Source : Google Earth.

- au droit des échangeurs routiers, les bretelles d'accès ou de sortie constituent une seconde barrière dont il faut tenir compte. Des ouvrages doivent donc être prévus sur les deux sections d'infrastructures (17).

Pour améliorer l'efficacité des passages, ces deux derniers doivent être reliés par une structure guide favorable (plantations) et correspondant au mieux aux milieux constituant le corridor à rétablir.

La recherche d'une implantation plus en amont de l'échangeur doit toutefois préalablement être étudiée en priorité.



17 Représentation schématique du maintien de la continuité écologique au droit d'un échangeur par la réalisation de deux ouvrages successifs et la réalisation d'un cordon écologique entre les deux ouvrages. Source : Cerema.



Où construire un passage toute faune ?

En priorité au droit des continuités écologiques présentant des enjeux forts

Dans les habitats ordinaires pour assurer une perméabilité globale suffisante

Construction d'un passage toute faune si :

- Absence de toute possibilité de franchissement (même pour la petite faune) sur plus de 3 km.
- Présence de possibilités de franchissement pour la petite faune, mais absence de passage toute faune sur plus de 5 km.

Une localisation tenant aussi compte des contraintes techniques et des autres ouvrages de rétablissement

- Décalage de la position d'un passage toute faune au vu de contraintes techniques fortes (profil en long peu adapté, obstacle...).
- Besoin d'assurer la complémentarité avec d'autres usages (possible si les enjeux faunistiques ne sont pas trop importants) en privilégiant le déplacement des autres usages au droit de la continuité.
- Besoin d'assurer la continuité avec d'autres transparences (jumelage d'infrastructures).

**En moyenne, un passage toute faune tous les 2 km
(1-3 km dans les habitats bien conservés, 3-5 km dans les habitats dégradés).**

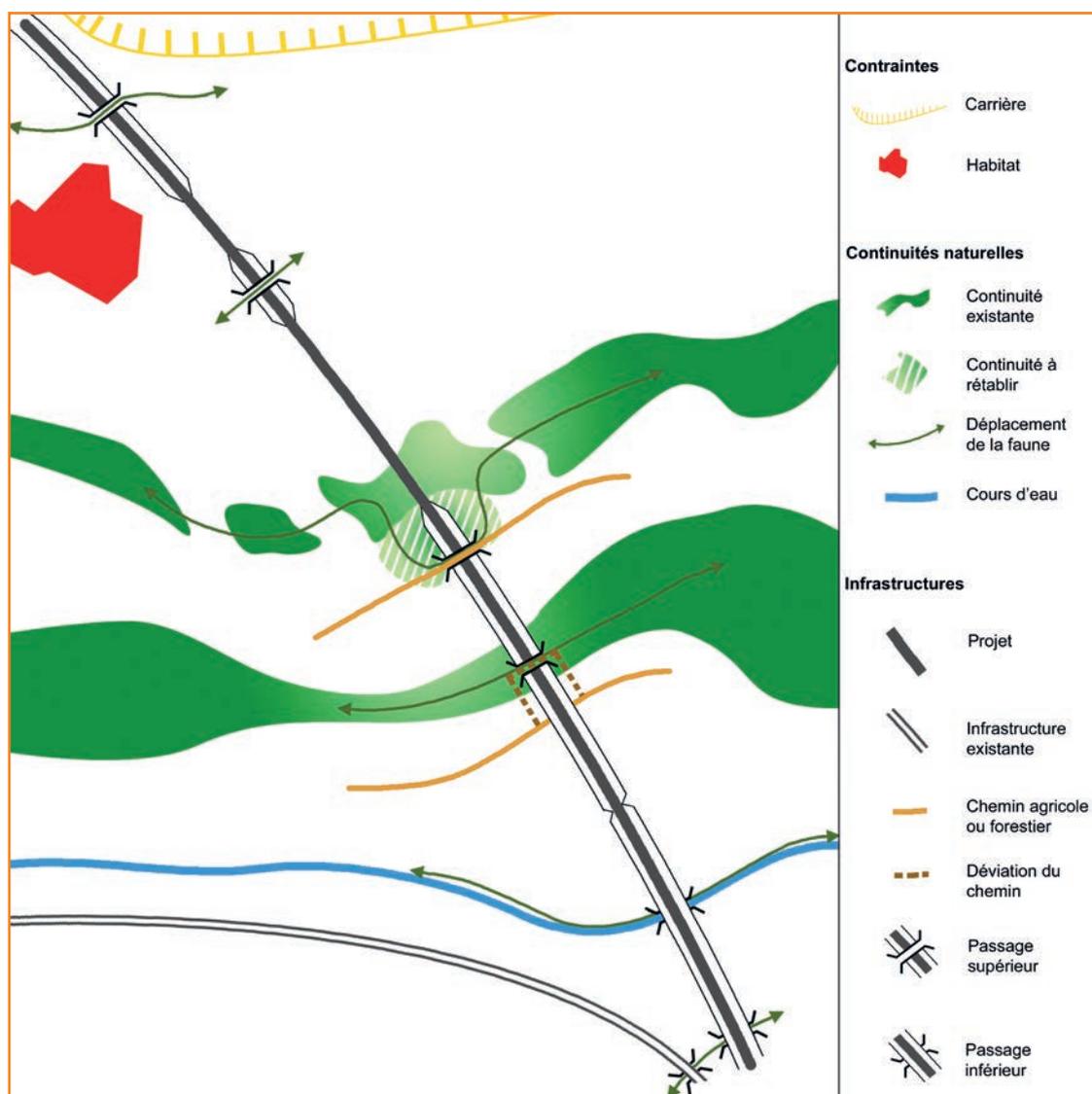
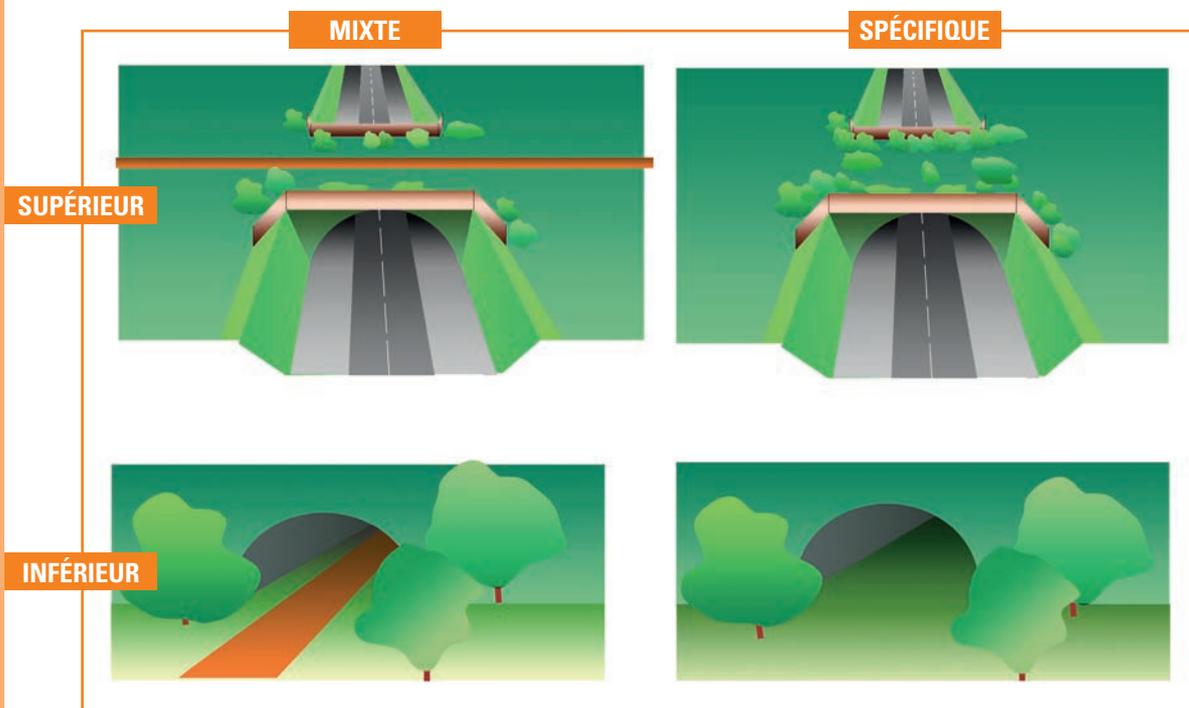


Schéma de synthèse de la localisation des ouvrages toute faune par rapport à l'environnement physique et naturel.
Source : Cerema.

FICHE

6

Quel type de passage toute faune ?



Les 4 grandes catégories d'ouvrages. Source : Cerema.

Passage supérieur ou inférieur : un choix défini d'abord en fonction du profil en long

Deux catégories de passages peuvent être différenciées : les passages supérieurs et les passages inférieurs.

Les passages sont dits « supérieurs » lorsque le passage des animaux se fait au-dessus de l'infrastructure. Inversement lorsque le passage des animaux se fait en dessous de l'infrastructure, le passage est dit « inférieur ».

Le choix du type de passage est tout d'abord défini en fonction du profil en long de l'infrastructure. Si ce profil peut parfois être conditionné par les intérêts écologiques, cette démarche reste rarissime et, même si lors des phases de conception son implantation peut

conduire à quelques ajustements de profil, c'est le plus souvent le profil qui définit le choix du type de passage. Celui-ci est quasiment dans tous les cas supérieur sur les sections en déblai ou en léger remblai et inférieur sur les sections en remblai important.

Pour les plus petits ouvrages, si l'élaboration du projet permet cependant de faire un choix préalable et si techniquement et économiquement la construction d'un passage supérieur est envisageable, on optera pour cette solution sous réserve que les techniques utilisées permettent effectivement d'y implanter et que s'y développe ensuite de façon optimale la végétation souhaitée.

Si le critère d'efficacité dans le choix d'un passage supérieur ou inférieur, lorsqu'ils sont de taille réduite, est rarement pris en compte, à taille égale, le succès des passages inférieurs apparaît plus difficile à atteindre, notamment en raison d'éléments susceptibles d'exercer des effets répulsifs plus nombreux :

- absence de lumière ;
- pas ou peu de végétalisation ;
- différence de température par rapport au milieu extérieur.

Les passages inférieurs restent néanmoins intéressants à partir du moment où ils sont correctement positionnés, dimensionnés et aménagés pour la faune.

Dans certains cas, l'avantage peut même être donné aux passages inférieurs, notamment lorsqu'il s'agit d'ouvrages de grande hauteur (viaduc). Ceux-ci ont en effet l'avantage, de par leur hauteur et leur faible longueur de traversée, de permettre un maintien ou la reconstitution des espaces initiaux présents sous l'ouvrage.

Les passages toute faune supérieurs ou écoponts*

Cette catégorie de passages a pour principal intérêt de permettre une végétalisation du tablier ainsi que le passage des espèces thermophiles.

Si de façon générale, les passages supérieurs sont conçus sur les sections en déblai, plusieurs situations peuvent toutefois être différenciées :

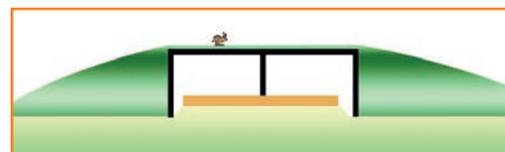
■ Lorsque la hauteur du déblai est au moins équivalente à la hauteur de l'ouvrage

Cette configuration est idéale, car ces passages assurent le plus souvent un accès facilité pour la faune et une continuité visuelle avec les milieux situés de part et d'autre de l'ouvrage (❶).

■ Lorsque l'infrastructure est au niveau du terrain naturel (éventuellement en léger remblai)

Un passage supérieur est envisageable, mais il nécessite :

- soit la réalisation d'une rampe d'accès jusqu'à l'entrée du passage (❷ et ❸ page suivante) dont la pente doit rester modérée, pour qu'elle soit facilement accessible à la faune (< 15 % et jusqu'à 30 %, ou plus selon les conditions particulières du site, ce qui s'impose parfois en zones montagneuses ou en plaine avec un ouvrage réalisé sur une autoroute au niveau du terrain naturel) ;



❷ Représentation schématique d'un ouvrage réalisé sur une infrastructure située au niveau du terrain naturel et nécessitant des rampes d'accès pour la faune. Source : Cerema.



❶ Ouvrage supérieur sur l'autoroute A16. Source : Sanef.

La réalisation de cette rampe s'accompagne parallèlement d'une consommation supplémentaire d'emprise.



③ Rampe d'accès au passage à faune. RD64 (70). Source : Cerema.

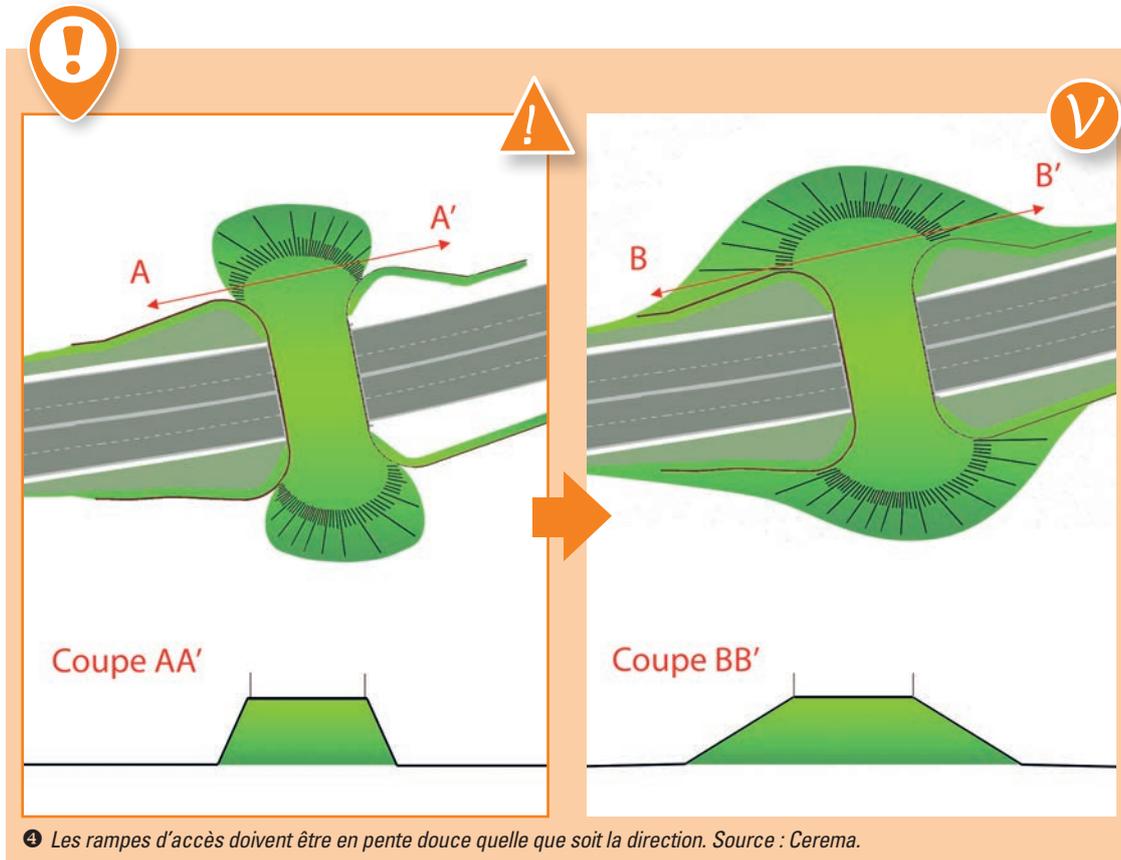
(notamment bien végétalisés). En outre, ils permettent, dans certaines situations, d'utiliser les excédents de matériaux issus du terrassement des emprises.



Pour une infrastructure située au niveau du terrain naturel, avec une pente de 15 %, la rampe d'accès s'étale, par exemple pour un ouvrage de gabarit autoroutier (4,75 m de haut), sur environ une trentaine de mètres depuis l'entrée du passage et jusqu'à une quarantaine de mètres pour un ouvrage dont le gabarit permet d'assurer le passage des convois exceptionnels (6 à 7 m de tirant d'air*).

Si l'absence de visibilité de la traversée et la présence d'une rampe d'accès à franchir peuvent limiter l'efficacité de ces passages, ils restent très efficaces lorsqu'ils sont correctement aménagés

La faune ayant souvent tendance à longer l'infrastructure avant d'accéder à l'ouvrage, les pentes doivent rester modérées, quelle que soit la direction d'approche (④).



- soit la construction d'un pont en arc (5), lorsque la brèche n'est pas trop importante (pas plus large qu'une 2X2 voies). Cette solution a l'avantage de limiter, voire de supprimer le talus d'accès et ainsi de limiter les emprises.

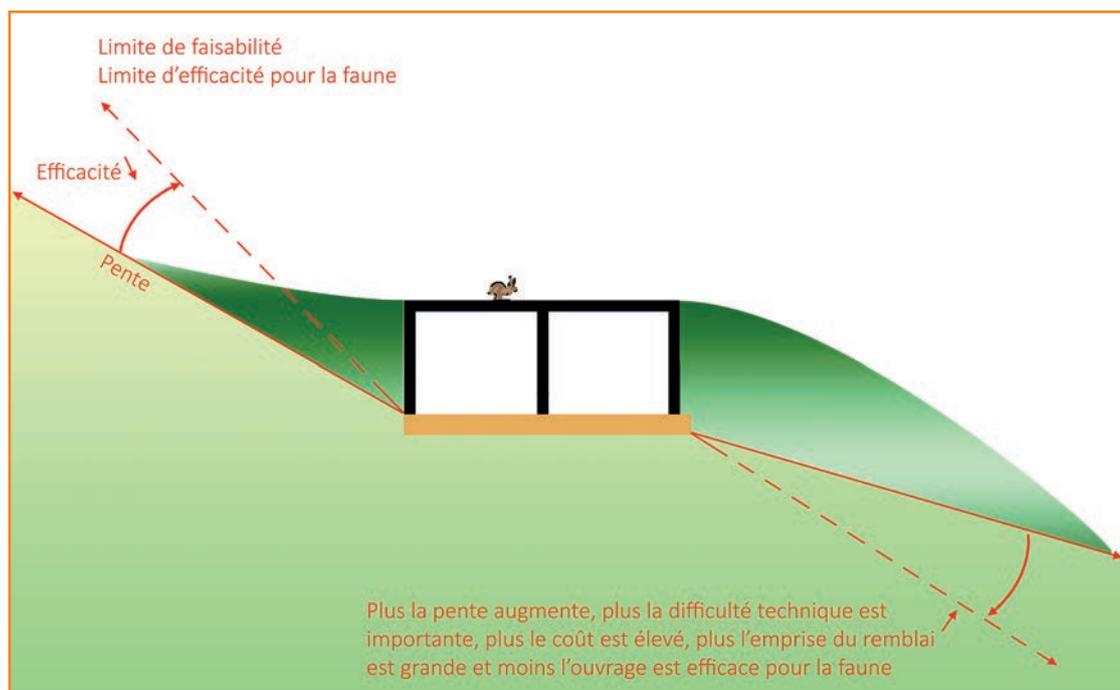
■ Lorsque l'infrastructure est en profil mixte

Si l'aménagement reste envisageable, il est difficile et dépend surtout de la pente des terrains traversés. Cette pente doit être limitée pour que l'ouvrage soit techniquement et économiquement réalisable et qu'il reste efficace 6.



5 Pont en Arc. RD 31, Moselle. Source : Cerema.

Ce type d'aménagement nécessite également de veiller à bien intégrer à la réflexion la gestion des eaux de ruissellement issues de la pente.



6 Représentation schématique d'une infrastructure dont le profil est mixte et où la difficulté d'aménagement est généralement liée à l'importance de la pente des talus situés de part et d'autre de l'infrastructure. Source : Cerema.

Les passages toute faune inférieurs

Réalisés sur les sections en remblai, ils sont possibles dès lors que la hauteur de ce remblai est suffisante (7).

Lorsque le remblai n'est pas suffisamment haut, il est toutefois possible dans certains cas (sol filtrant,

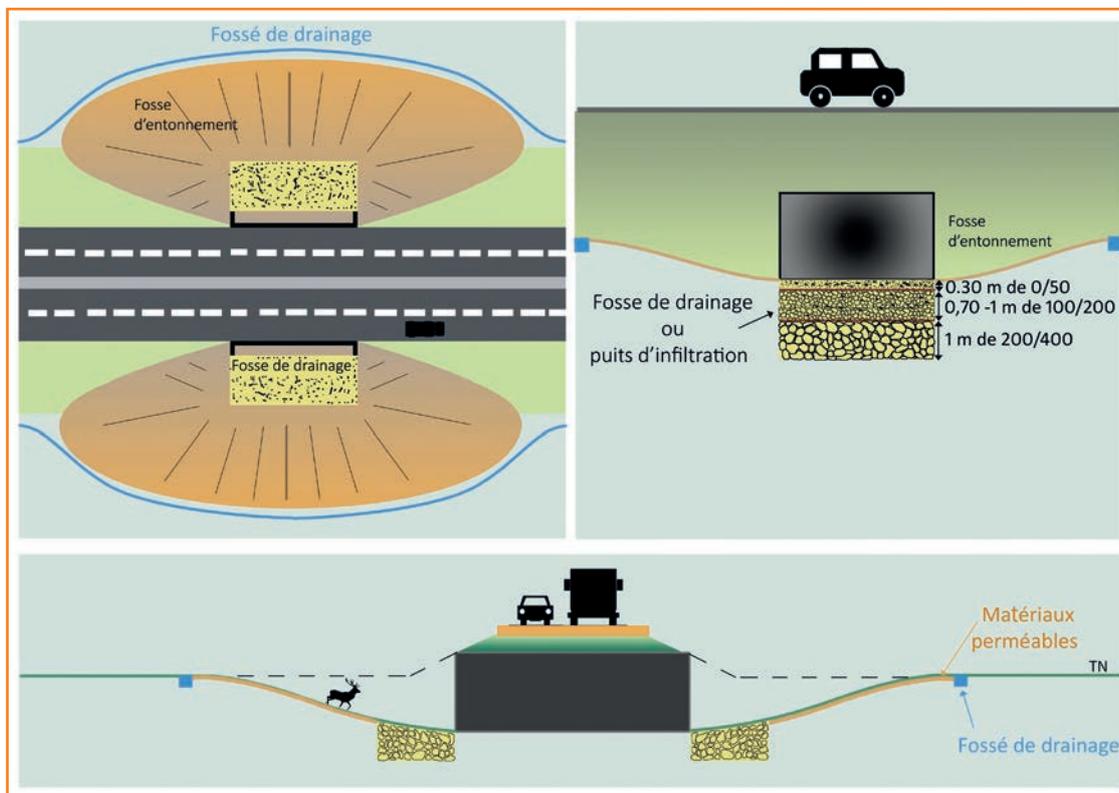
hors zone inondable, nappe aquifère profonde...) de créer des fosses d'entonnement en pente douce, pour faire passer un passage inférieur (8). Dans ce cas, il peut être nécessaire de créer des puits d'infiltration (si le sol est adapté) ou au minimum des fosses de drainage constituées de matériaux drainants, afin d'éviter la présence d'eau à l'entrée ou dans l'ouvrage (9).



7 Passage inférieur sur la RN 4. Région Grand Est. Source : Cerema.



8 Passage inférieur avec fosse d'entonnement. Autoroute A88 (Orne). Source : Cerema.



9 Schémas de l'aménagement d'une fosse de drainage sur les passages inférieurs situés sous le niveau du terrain naturel. Source : Cerema.



Fosse de drainage

La fosse de drainage est creusée à l'entrée de l'ouvrage, au pied de la fosse d'entonnement. D'une profondeur d'environ 2 m, elle est remplie de matériaux drainants pouvant être de taille variable, pour faciliter l'infiltration. Depuis le fond, la fosse est ainsi remplie :

- d'environ 1 m de gros blocs de 200/400 ;
- de 0,7 à 1 m de blocs et galets de 100/200 ;
- et enfin, d'une couche de couverture constituée de matériaux plus fins (0/50).

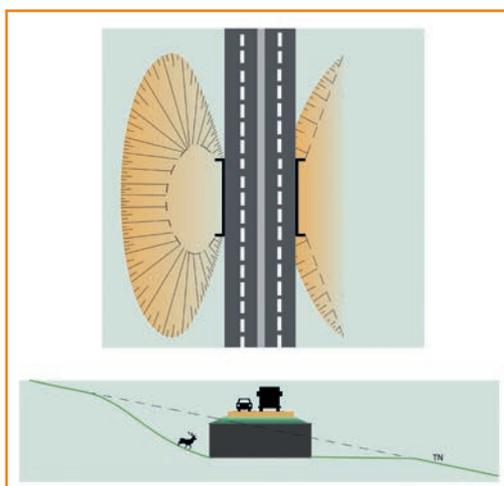
Chaque couche de matériaux est séparée par un géotextile (perméable à l'eau) pour éviter la descente des éléments les plus fins vers les matériaux plus grossiers.

La fosse de drainage doit également s'accompagner :

- de la réalisation d'un fossé de drainage en bordure de la fosse d'entonnement, pour éviter que les eaux de surface ne descendent dans la fosse ;
- de la mise en œuvre d'une couche de sol perméable (coefficient de perméabilité 10^{-4} m/s) sur les talus de la fosse (mélange de terre + sable ou matériaux 30/50), afin d'éviter le ravinement et le dépôt des sédiments les plus fins vers l'entrée du passage, ce qui réduirait à terme l'efficacité de drainage, et l'infiltration de l'eau dans la fosse.

L'existence d'un profil mixte (cf. schéma ci-dessous) peut également permettre l'aménagement d'un passage inférieur (10).

Dans ce cas, l'ouvrage a pour avantage d'être facilement drainé et l'eau évacuée de façon gravitaire vers la pente (10).



10 Vue schématique d'un passage inférieur en profil mixte avec fosse d'entonnement d'un côté. Source : Cerema.



11 Passage inférieur permettant l'évacuation des eaux de ruissellement vers la pente. Source : Cerema.

Contrairement aux passages supérieurs, les passages inférieurs ont l'inconvénient de ne pas pouvoir être totalement végétalisables en raison de l'absence d'arrosage (pluie) et de lumière sous le passage. Il apparaît toutefois, lorsque la longueur de traversée reste assez faible (équivalente à 2X2 voies avec un faible remblai), que la section de l'ouvrage est suffisamment grande et qu'il n'est pas très fréquenté (notamment par les usages anthropiques), qu'une strate herbacée puisse se développer sous tout ou partie de l'ouvrage.

L'absence d'ensoleillement sous l'ouvrage a également pour inconvénient de créer des conditions microclimatiques particulières parfois défavorables à certaines espèces. Plus la longueur de passage est grande, plus les écarts de température entre l'extérieur et l'intérieur du passage seront forts, ce qui peut rendre la traversée plus difficile pour certaines espèces de vertébrés à faible capacité de thermorégulation, comme les reptiles, notamment dans le nord de la France.

Un passage inférieur constitue par ailleurs un couloir plus ou moins obscur susceptible

d'effrayer certaines espèces qui habituellement ne fréquentent pas les milieux sombres et/ou exigus (ex. : insectes volants). Cette contrainte appelée « effet tunnel » a tendance à augmenter avec la longueur de traversée du passage (c'est-à-dire la taille du remblai) et la diminution du gabarit de celui-ci.

Les passages inférieurs, bien que moins attractifs pour la faune, sont efficaces pour peu qu'ils répondent cependant aux besoins en termes de positionnement, d'accessibilité et d'aménagements extérieurs.

Passage mixte ou spécifique : un choix lié au niveau des enjeux de rétablissement et à la possibilité de complémentarité avec un autre usage

Le rétablissement des continuités peut être assuré soit par un passage à vocation exclusive pour la faune (passage spécifique), soit en étant associé à d'autres usages (hydraulique, agricole, forestier ou piétonnier), on parle alors de « passage mixte ».

Si la mixité des passages est possible, l'absence de perturbations visuelle, sonore et olfactive, sur un passage à vocation exclusive lui assure néanmoins une meilleure efficacité, en particulier lorsque la taille de cet ouvrage est modeste. À l'exception des passages mixtes hydraulique/faune qui ont une vocation exclusivement naturelle, **la priorité doit donc être donnée à des passages spécifiques, notamment lorsque les enjeux faunistiques sont élevés.**

La multifonctionnalité des passages n'est envisageable que si et seulement si les conditions sont favorables (continuité écologique et nécessité de rétablissements

proches, conditions d'accès adaptées, milieux traversés favorables...). L'aménagement d'un passage mixte nécessite par ailleurs de prendre des précautions particulières et des conditions d'aménagement très strictes pour qu'il soit efficace (cf. chapitre « passages mixtes » ci-dessous).



Biches sur le passage supérieur spécifique de La Lande. Autoroute A10. Source : © Photothèque VINCI Autoroutes – Emmanuel Rondeau.

Passages spécifiques

Ces ouvrages sont soit réservés au rétablissement des continuités les plus intéressantes, soit retenus en l'absence d'autres rétablissements. Il s'agit d'ouvrages n'assurant aucune autre fonction et qui sont inaccessibles aux véhicules. Le rétablissement des autres usages se fait alors via d'autres ouvrages (12).

Ils peuvent être inférieurs ou supérieurs. Lorsqu'ils sont supérieurs, ils sont caractérisés par un tablier supportant une couche de terre qui leur permet d'être végétalisés et d'assurer le maximum de connectivité entre les habitats séparés. Toutefois, des précautions sont généralement nécessaires sur ces ouvrages pour préserver leur spécificité et empêcher la fréquentation humaine (cf. fiche n° 8).



12 Rétablissement agricole dissocié du passage à faune. Source : Luchtfoto Irvin Van Hemert/Pays-Bas.

Passages mixtes

Ces ouvrages assurent le rétablissement de la perméabilité pour la faune ainsi que d'autres fonctions telles que le rétablissement d'un cours d'eau, d'un chemin agricole ou forestier ou d'un chemin piétonnier. Ils ont pour avantage de mutualiser les coûts. Pour que leur efficacité soit la plus proche possible de celles des passages spécifiques, à enjeux équivalents, les dimensions des passages mixtes doivent être supérieures afin de tenir compte de l'espace réservé aux autres usages et aux perturbations potentielles qui y sont associées (cf. fiche n° 7). Des dispositifs pour séparer les fonctions sont parfois associés pour s'assurer du bon fonctionnement de l'espace réservé à la faune (cf. fiche n° 8).



13 Passage mixte hydraulique/faune. Autoroute A304 (Région Grand Est). Source : Cerema.

■ Les passages mixtes hydrauliques

Les passages mixtes hydrauliques toute faune sont des passages rétablissant à la fois la fonction hydraulique du cours d'eau intercepté et le franchissement de la faune grâce à la présence d'une emprise supplémentaire sur chaque rive (13). Pour un passage toute faune, la largeur des pieds secs est fonction de l'importance de la continuité à rétablir. Elle doit être au minimum de 3 m sur chaque rive pour les passages ordinaires et peut aller jusqu'à plus de 20 m pour les passages exceptionnels. Les pieds secs doivent par ailleurs être en matériaux

naturels pour que les ouvrages soient considérés comme des passages toute faune. Ces ouvrages sont particulièrement favorables, car les cours d'eau sont bien souvent associés à des boisements riverains constituant des corridors avec un rôle fondamental pour le déplacement des espèces.

Même si ces ouvrages sont souvent temporairement inutilisables dans les vallées inondables, il n'est pas nécessaire de prévoir des dispositions particulières pour assurer le passage sous ces ouvrages pendant ces périodes de fortes inondations (calage du niveau du pied sec sur le débit de plein bord - Q2 à Q3). Compte tenu des enjeux liés aux mammifères semi-aquatiques, des dispositions doivent toutefois être envisagées au minimum pour le passage de cette petite faune (cf. fiche n° 11) notamment si la durée des inondations se compte en jours ou plus.

Attention également lorsqu'il s'agit d'ouvrages de décharge équipés de fosses de dissipation, car celles-ci peuvent rester en eau assez longtemps et remettre en cause le déplacement des espèces (14).

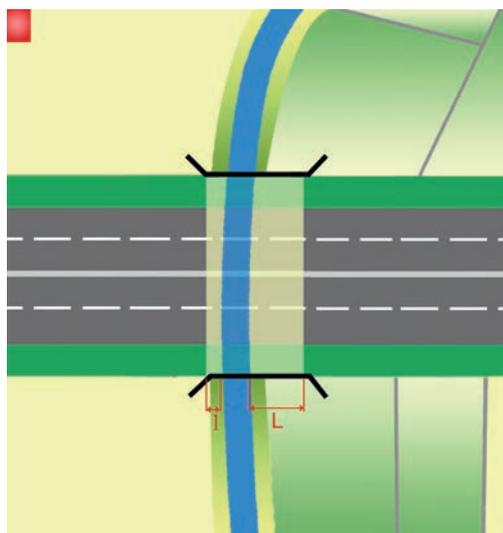
Il est donc recommandé dans tous les cas de concevoir des emprises supplémentaires avec une pente douce (1 à 5 %) vers le cours d'eau ou le centre de la fosse de dissipation, de façon à permettre à la faune de cheminer lors des faibles débordements, à limiter l'accumulation d'eau ou simplement l'humidité sous l'ouvrage.

Au sein de cette catégorie d'ouvrages, la position du cours d'eau est assez logiquement centrale. Lorsque les conditions hydrauliques le permettent, il est toutefois possible de décentrer le lit pour favoriser la perméabilité terrestre sur une rive lorsque les



14 Ouvrage de décharge avec fosse de dissipation en eau toute l'année et empêchant le passage de la faune. Source : Geoportail.

enjeux y sont localisés (présence d'une continuité forestière le long d'une rive 15). La taille minimale (3 m) de la plus petite banquette* doit toutefois être respectée (cf. fiche n° 7 : « Comment dimensionner le passage ? »).



15 Vue schématique d'un exemple de positionnement du cours d'eau par rapport à une continuité écologique forestière longeant essentiellement une rive. Source : Cerema.

■ **Les passages mixtes agricoles/forestiers/piétonniers**

Ces ouvrages combinent à la fois un espace réservé à la faune avec le rétablissement d'un chemin agricole ou forestier (16 et 17 page suivante) ou simplement piétonnier.

Si la fréquentation humaine est compatible avec le passage de la faune, le chemin rétabli pour cet usage ne doit être que faiblement emprunté, avec un nombre de passages par jour limité, et en s'assurant

que la fréquentation se fasse essentiellement voire totalement de jour (ex. : mise en place de barrière, panneau d'accès réservé à l'usage agricole ou forestier...). Si l'ouvrage a également une vocation piétonne, il ne devra en aucun cas être éclairé. Pour les cheminements piétonniers, il est préférable de prévoir un cheminement étroit bien identifié et attractif (voire artificialisé), qui concentre les déplacements pour éviter que l'absence de guide ne conduise les marcheurs à divaguer sur l'ensemble de l'ouvrage, au risque d'augmenter les perturbations (olfactives).



16 Passage mixte agricole/faune.
A34 (Région Grand Est). Source : Cerema.



17 Passage supérieur mixte agricole/faune.
RN 59 (Région Grand Est). Source : Cerema.



RN59 – Suivi par piégeage photographique de plusieurs ouvrages faune Cerema Est, 2014

Le Cerema a effectué un suivi de la faune sur plusieurs ouvrages dans le cadre du bilan environnemental de la RN59, pour le compte de la DREAL Grand Est.

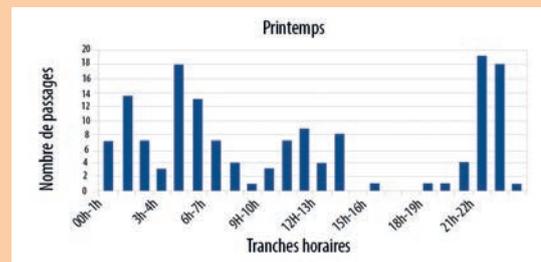
Ce suivi concernait, entre autres, trois ouvrages relativement proches appartenant à une section de 1,5 km, située au sein d'une même entité paysagère : un passage supérieur mixte faune/forestier (12 m), un passage inférieur faune spécifique (12 m) et un ouvrage routier (8 m). Ce suivi a été effectué au cours de deux périodes d'un mois (printemps, automne).

Les résultats et notamment la comparaison du nombre de passages de la faune ont montré sur ces ouvrages que :

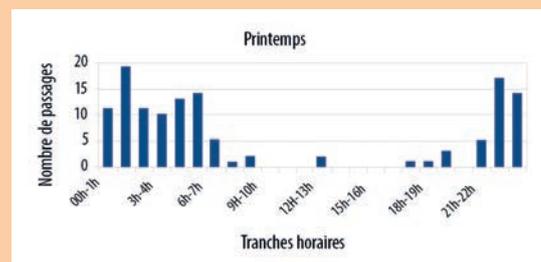
- globalement, les passages de la faune ont été majoritairement nocturnes ;
- la fréquentation de la faune dans l'ouvrage routier est quasiment nulle (9 passages en 75 jours et seulement au printemps) ;
- si les passages sur l'ouvrage spécifique sont plus importants de nuit, de nombreux passages se font également de jour ;
- les traversées de jour sur l'ouvrage mixte sont très rares.

Les différences ainsi observées entre les trois ouvrages semblent montrer que :

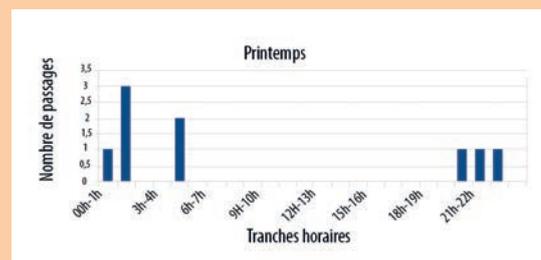
- les ouvrages routiers sont peu favorables au passage de la faune ;
- l'utilisation anthropique d'un ouvrage durant la journée (ici jusqu'à 30 passages quotidiens sur l'ouvrage mixte) réduit la fréquentation et l'efficacité du passage pour la faune.



Utilisation temporelle du passage spécifique.
Source : Cerema.



Utilisation temporelle du passage mixte faune/forestier.
Source : Cerema.



Utilisation temporelle du passage routier.
Source : Cerema.

Pour qu'un passage mixte puisse être considéré comme tel, le chemin **ne doit en aucun cas être revêtu**, ce dernier constituant une barrière physique peu franchissable, voire infranchissable pour un grand nombre d'espèces, en particulier de la microfaune. Cette remarque s'applique plus largement pour toutes les sections susceptibles de constituer une coupure physique pour la faune à l'approche du passage.



Un ouvrage dans lequel la voie est bitumée, ne peut pas être considéré comme un passage toute faune.



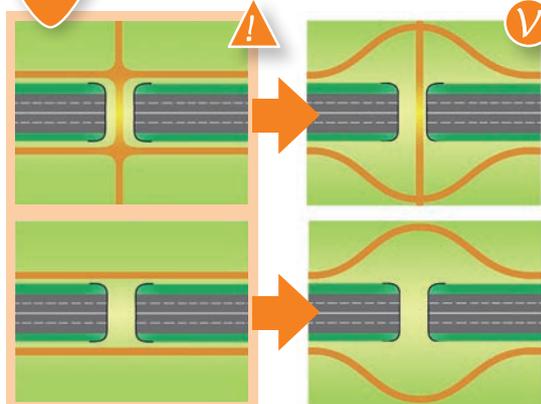
Exemple d'un ouvrage mixte faune et rétablissement forestier dont le chemin a été revêtu et dans lequel les bandes enherbées ont été remplacées par des trottoirs.

Le chemin stabilisé (non revêtu) est généralement constitué d'une couche de roulement en grave perméable, souvent non traitée, composée d'un mélange de cailloux, de graviers et de sable.

La configuration des chemins de rétablissement agricoles ou forestiers joue également un rôle sur l'organisation fonctionnelle du passage pour la faune. Lorsqu'au droit de l'ouvrage, le chemin de rétablissement est perpendiculaire à l'infrastructure, l'insertion des aménagements pour la faune est généralement assez aisée et le guidage de la faune jusqu'à l'entrée peu perturbé. À l'inverse, et c'est souvent le cas, les ouvrages mixtes supportent des rétablissements de chemins qui, avant de franchir l'infrastructure, longent souvent les emprises. L'organisation du rétablissement pour la faune, notamment l'aménagement des entrées, est alors plus délicate. Dans ce cas, il faut veiller à éloigner au maximum le chemin de l'entrée du passage (18).

Afin d'optimiser l'efficacité de la transparence, la position du chemin sur l'ouvrage devra également être définie en fonction de la localisation et/ou des caractéristiques de la continuité à rétablir.

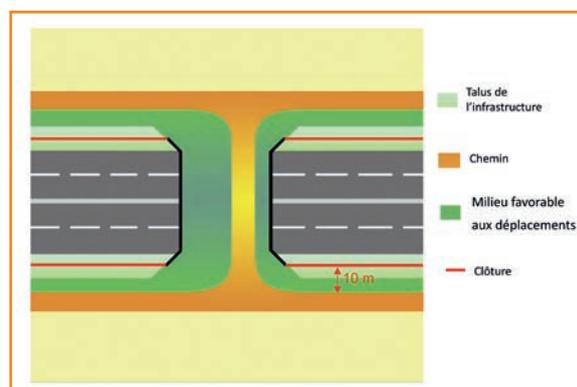
L'objectif est ainsi de positionner le chemin du côté inverse de la continuité (19 page suivante). Lorsque l'on traverse un milieu homogène, on cherche simplement à positionner le chemin d'un côté du passage plutôt qu'au centre, notamment lorsque les passages sont de très grande largeur (20). Pour les piétons, il s'agit également de concentrer les cheminements sur un côté et d'éviter le maximum de perturbations sur le reste du passage.



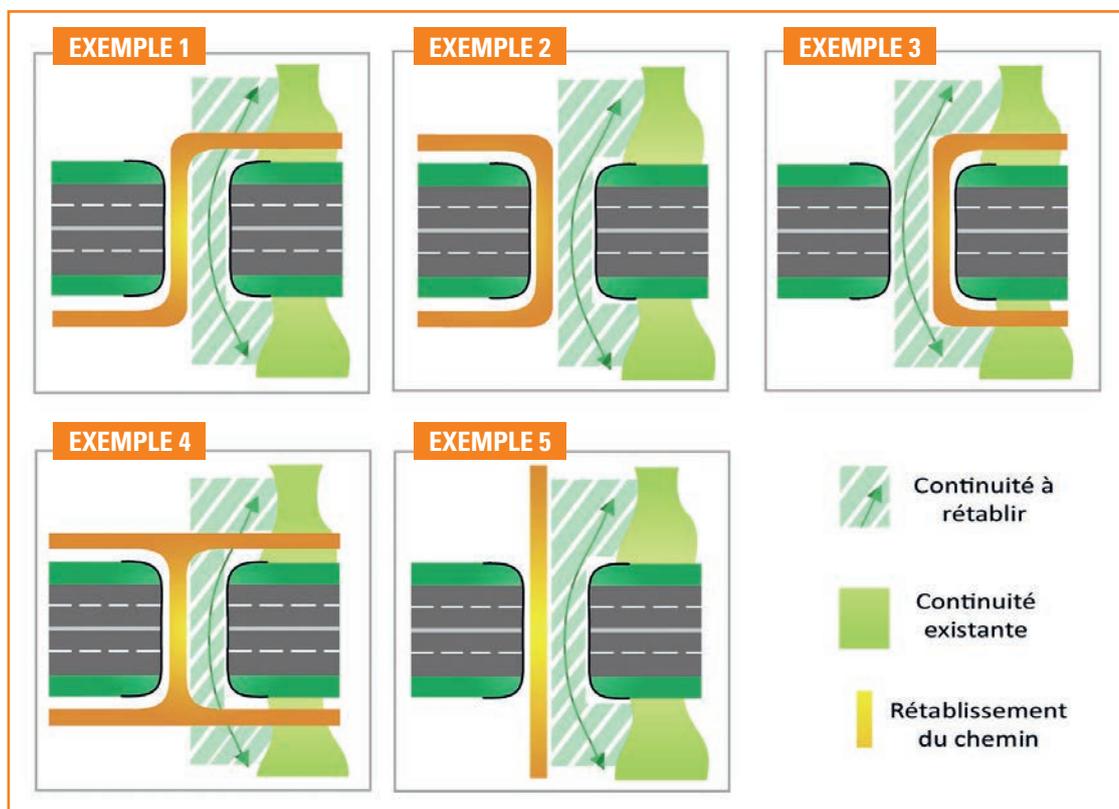
18 Schéma de principe du positionnement d'un chemin agricole ou forestier aux abords d'un passage faune. Source : Cerema.

Pour des questions pratiques, les cheminements sont souvent implantés le long des emprises, ce qui peut perturber les déplacements longitudinaux de la faune, notamment dans les milieux agricoles ouverts (ex. : zone céréalière).

Pour limiter l'impact de ces voiries secondaires, **il est recommandé de maintenir un couloir naturel le long de l'infrastructure d'au moins 10 m** (espace de nature entre les clôtures et la voie) (19).



19 Schéma de principe du maintien d'un couloir naturel de 10 m entre le chemin longeant l'infrastructure et la clôture. Source : Cerema.



20 Exemples de positionnement du chemin par rapport à une continuité transversale. Source : Cerema.

Exemples 1, 2, 4, 5 : la continuité existante est située à droite de l'ouvrage. Un positionnement du chemin à gauche permet de reconstituer un milieu favorable sur l'ouvrage du même côté que la continuité à rétablir et limite ou évite l'effet de coupure créé par le chemin.

Exemple 3 : même si le chemin est positionné du même côté que la continuité à rétablir, son positionnement permet d'éviter une coupure supplémentaire au sein du corridor rétabli.

Il arrive également que le passage mixte soit décalé par rapport à la continuité écologique interrompue. Dans ce cas, l'aménagement devra comprendre des mesures de rétablissement de la connectivité (corridor) entre le passage et l'entité écologique interceptée (cf. fiche n° 5).

- La mixité faune/bétail (bovins, équidés) est envisageable, pour peu que la taille de l'ouvrage soit suffisante, et que les clôtures, si elles sont nécessaires, ne compromettent pas la libre circulation de la faune.

De la même manière, les ouvrages rétablissant des voies ferrées à desserte locale de faible activité (zone industrielle, zone d'activité...) ou les ouvrages

hydrauliques de décharge (sans fosse d'entonnement) (20) peuvent constituer des passages mixtes pour la faune sauvage.



20 Ouvrage de décharge hydraulique fonctionnel pour la faune. Autoroute A304 (Région Grand Est). Source : Cerema.



Quels types de passage toute faune ?

En fonction du profil en long (sauf exception), le passage toute faune est :

- inférieur : lorsque l'infrastructure est en remblai ;
- supérieur : lorsque l'infrastructure est en déblai (ou exceptionnellement en léger remblai).

En fonction des enjeux et des possibilités de complémentarité avec d'autres usages, le passage toute faune est :

- toute faune spécifique : lorsque les enjeux de continuité sont particulièrement élevés et/ou qu'il n'existe pas de nécessité de rétablissement d'autres usages à proximité ;
- toute faune mixte : lorsqu'il est possible de rétablir sur le même ouvrage d'autres usages :
 - mixte toute faune/hydraulique : ce sont des ouvrages assurant la transparence hydraulique et possédant des cheminements terrestres supérieurs à 3 m sur chaque rive du cours d'eau,
 - mixte toute faune/agricole/forestier/piétonnier : ce sont des ouvrages accueillant un chemin stabilisé (NON REVÊTU) pour le passage des véhicules ou des piétons, associé à un espace végétalisé suffisamment grand pour assurer le franchissement par la faune.

FICHE

7

Comment dimensionner le passage ?

Un passage à faune peut être considéré comme un segment de corridor. Les passages n'offrent toutefois pas tous le même intérêt. Il est logiquement établi que plus la taille du passage est grande et sa longueur de traversée est courte, moins la barrière physique sera marquée et plus l'ouvrage sera attractif et efficace pour la faune. Le nombre d'espèces empruntant l'ouvrage est en partie lié à la taille de l'ouvrage.

Cependant, le coût de l'ouvrage est également proportionnel à sa taille. Les passages toute faune doivent donc être réservés au rétablissement des enjeux les plus élevés et leur taille doit être adaptée au niveau des transparences à rétablir. L'objectif est de restaurer, dans tous les cas, le passage du maximum d'espèces en tenant compte des possibilités de déplacement de l'ensemble de la faune et du coût de l'ouvrage.



Nombre moyen d'observations d'animaux par classe de largeur d'ouvrage

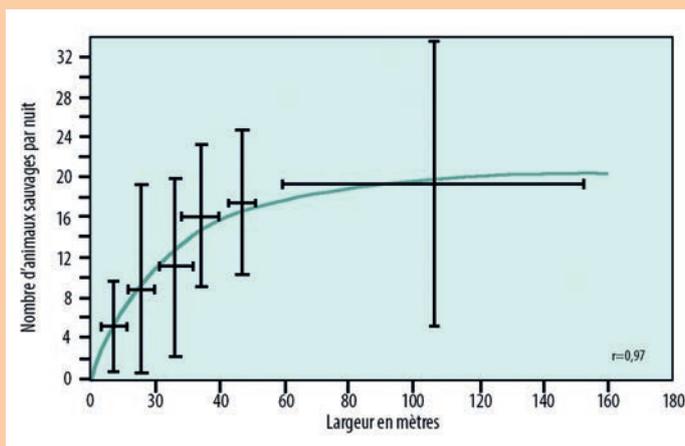
Espèces concernées :

renard, chevreuil, lièvre, blaireau, martre, fouine, sanglier, cerf.

Représentativité

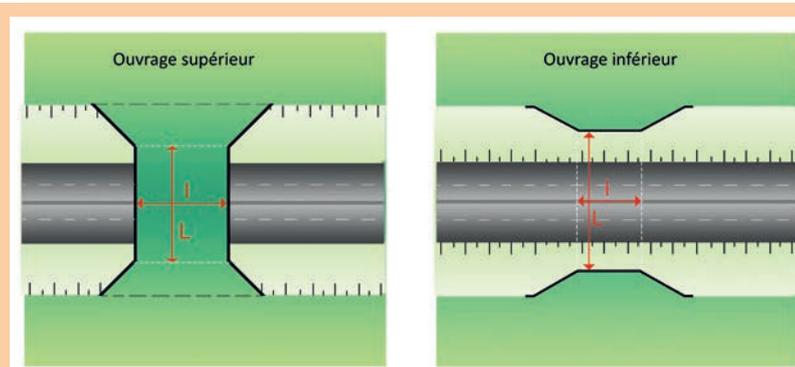
(N = nombre de passages suivis par classe de largeur d'ouvrage) :

Classe 1 : jusqu'à 10 m	N = 5 ouvrages
Classe 2 : 11-20 m	N = 5 ouvrages
Classe 3 : 21-30 m	N = 3 ouvrages
Classe 4 : 31-40 m	N = 1 ouvrage
Classe 5 : 41-50 m	N = 2 ouvrages
Classe 6 : 51-60 m	N = 0 ouvrage
Classe 7 : 61-186 m	N = 5 ouvrages



Source : d'après Pfister et al. (1997).

Sont figurés : la courbe de régression, le recouvrement de la classe et les variations de fréquence.



Source : Cerema.

La longueur (L) de l'ouvrage correspond à la longueur du tablier pour les ouvrages supérieurs et à la longueur de couverture pour les ouvrages inférieurs.

La largeur (l) d'un ouvrage correspond à la largeur au centre de celui-ci.



Si on parle très communément de largeur, il s'agit de la largeur utile, ou au minimum utilisable, de l'ouvrage pour la faune.



Passage mixte supérieur dont la totalité de la largeur n'est pas accessible à la faune. Source : DIR Nord.

Largeur en fonction de l'importance des continuités à rétablir et de la mixité ou non du passage

Que les passages soient supérieurs ou inférieurs, leur largeur est essentiellement conditionnée par l'importance des enjeux. Aussi, plus l'intérêt de la continuité et les enjeux sont importants, plus la taille de l'ouvrage devra être grande.

L'intérêt d'un passage est également fonction de sa quiétude, de son aménagement ou encore de l'espace disponible pour la faune. Ainsi, parce qu'il est moins performant pour un objectif d'efficacité équivalent, un passage mixte agricole/forestier/piéton devra être plus large par rapport à un rétablissement spécifique faune. Le but étant à la fois de maintenir et d'aménager (végétalisation...) une largeur disponible suffisante pour la faune, tout en limitant au maximum les perturbations anthropiques. Une largeur plus importante permet le passage d'espèces spécialisées, souvent de petite taille, parce qu'il est possible de créer leurs habitats spécifiques.

De la même manière, pour les ouvrages hydrauliques, si l'ouverture du passage est un point déterminant pour sa fonctionnalité, la largeur des pieds secs et leur aménagement, correspondant au milieu réellement utilisable par la faune terrestre, le sont tout autant.

Ces deux composantes sont donc à prendre en compte lors de la définition des caractéristiques de l'ouvrage.

En fonction de l'importance de la continuité à rétablir, une catégorie de passage avec une taille de référence est recommandée. **Cette taille de référence reste toutefois à adapter en fonction des caractéristiques propres du projet, des enjeux particuliers des milieux traversés et des contraintes techniques.**

Les passages ordinaires toute faune

Ces passages sont prioritairement aménagés au droit des corridors d'intérêt local. De par leur dimension, ils assurent un minimum de transparence favorable à de nombreuses espèces de la petite et de la grande faune. Ils permettent ainsi un minimum d'échanges, de brassage génétique des populations et maintiennent une possibilité de conquête de nouveaux territoires. S'ils assurent une possibilité de franchissement jusqu'aux ongulés de type chevreuils et sangliers, ils ne permettent toutefois pas d'assurer de façon optimale la transparence pour les cerfs.

Ces passages, lorsqu'ils sont spécifiques ont une taille de 20 m +/- 5 m en fonction de l'importance des déplacements et du corridor à rétablir (❶).



❶ Passage inférieur spécifique ordinaire toute faune. RN 4 (54). Source : Cerema.

Cette largeur de référence est portée à 25 m (+/-5 m si le passage est également utilisé pour le rétablissement d'un chemin agricole ou forestier ou encore piétonnier (chemin de randonnée) (❷) à condition qu'il ne soit pas bitumé et que sa largeur ne dépasse pas 5 mètres.



❷ Passage supérieur mixte ordinaire toute faune. Autoroute A36 (Région Grand Est). Source : Google Earth.

Pour les passages mixtes hydrauliques/faune, on veillera simplement à maintenir sous l'ouvrage un espace disponible de 3 m sur chaque rive (❸).

Les passages remarquables toute faune

Ces ouvrages assurent à la fois la dispersion d'un grand nombre d'espèces de la petite et de la grande faune et répondent notamment aux besoins des grands ongulés comme le cerf. Ils sont toutefois assez coûteux et doivent être réservés à l'équipement d'habitats riches en faune ou pour le rétablissement d'importants enjeux de continuité.

En fonction de l'importance des continuités à rétablir, on choisit :

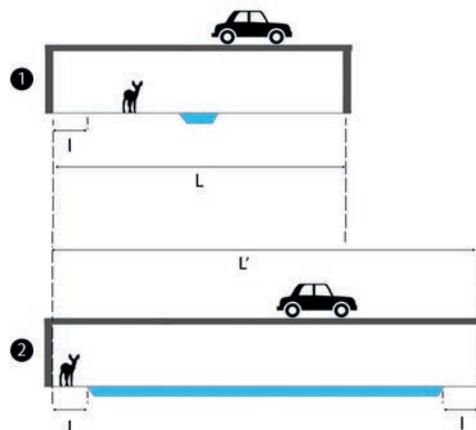
- lorsqu'il s'agit d'un corridor d'intérêt local, avec déplacement de cervidés ou d'un massif forestier d'intérêt (< 500 ha) :
 - un passage spécifique ou mixte hydraulique de 25 m +/- 5 m (en veillant à maintenir sous l'ouvrage un espace disponible de 7 m sur chaque rive s'il s'agit d'un ouvrage hydraulique),
 - un passage de 30 m +/- 5 m s'il s'agit d'un passage mixte agricole ou forestier (si l'ouvrage a en plus une fonction hydraulique, il faudra s'assurer de disposer d'au moins 7 m de pied sec réservé à la faune de chaque côté du cours d'eau).

- ❶ Ouvrage dont la largeur de référence (L) pour cette catégorie de passage est suffisante pour maintenir des pieds secs de taille égale ou supérieure à la largeur recommandée (l). Cette dernière est fonction de chaque catégorie d'ouvrage.

Exemple, pour un ouvrage ordinaire toute faune de 20 m de large, la taille des pieds secs doit être supérieure à 3 m.

- ❷ Ouvrage surdimensionné (L') par rapport à la largeur de référence (L) afin de respecter la taille minimale des pieds secs (l)

Exemple pour un ouvrage ordinaire toute faune de 20 m, si le cours d'eau est large de 22 m, l'ouvrage sera surdimensionné pour maintenir des pieds secs d'au moins 3 m. La largeur de l'ouvrage sera ainsi portée à :
 $22 + 2 \times 3 \text{ m} = 28 \text{ m}$



❸ Ajustement de la largeur de l'ouvrage pour tenir compte à la fois de la largeur du cours d'eau et du rétablissement des continuités terrestres. Source : Cerema.

Pour le cerf, même s'il n'est pas encore présent, le potentiel de recolonisation pourra également être étudié et anticipé. Il pourra alors justifier la création d'un ouvrage favorable avant son arrivée ;

- lorsque les enjeux sont plus importants et qu'il s'agit notamment de corridors d'intérêt régional, lorsqu'il s'agit d'enjeux importants de continuité au sein d'une ZNIEFF de type 1 ou dans la traversée de vastes massifs forestiers (> 500 ha) : **un ouvrage de 35 m +/- 5 m (4) (ou 40 +/- 5 m pour les passages mixtes** et s'il s'agit d'un ouvrage hydraulique avec au moins 10 m d'espace réservé à la faune de chaque côté du cours d'eau.



4 Exemple de passage remarquable toute faune sur l'autoroute A1 en Suisse. Source : AURA/Emanuel Ammon.

Les passages exceptionnels toute faune

L'objectif de ces passages est d'offrir de grandes surfaces naturelles, soit par la construction d'un passage supérieur de très grande taille, soit par la conservation de tout ou partie de ces habitats lorsqu'il s'agit d'un viaduc ou d'un tunnel.

Grâce à leurs dimensions (50 m), la quasi-totalité des flux biologiques peut être rétablie. De par l'espace disponible, ils permettent notamment de créer les habitats naturels des espèces spécialisées. Ils assurent ainsi une connectivité maximale, voire intégrale, pour un maximum de groupes faunistiques, y compris les invertébrés et les micromammifères*. S'ils sont efficaces, ces ouvrages sont très coûteux et doivent être justifiés de manière indiscutable par la présence de milieux et de continuités de très grande valeur écologique.

En fonction de ces enjeux, on distinguera :

- **les passages de 50 m +/- 10 m (5)** : ils sont recommandés lorsque l'infrastructure interrompt une continuité entre ou au sein de sites protégés (réserve naturelle* nationale, parc national, réserve naturelle régionale). Ils peuvent également être justifiés par l'existence d'une zone de transition vitale pour des espèces protégées ou encore la traversée de vastes massifs forestiers (> 2 000 ha). S'il s'agit d'un ouvrage hydraulique, l'espace réservé à la faune de chaque côté du cours d'eau doit être au minimum de 15 m ;
- **les passages de plus de 60 m** et pouvant aller jusqu'à plusieurs centaines de mètres : ils sont à réserver aux enjeux les plus importants de continuités entre des sites Natura 2000*, au sein même d'un site Natura 2000 (zone spéciale de conservation) ou encore pour rétablir la fonctionnalité d'un corridor d'enjeu national. Pour un ouvrage hydraulique, l'espace réservé à la faune sur chaque rive devra également être d'au moins 20 m.



5 Exemple de passage exceptionnel entre Berne et Soleure en Suisse. Source : AURA/Emanuel Ammon.

Pour les franchissements supérieurs, de telles largeurs de passage nécessitent :

- soit la construction d'une tranchée couverte (6). À la différence des tunnels, elle est généralement choisie pour procéder à la réalisation d'un ouvrage de grande taille par creusement depuis la surface, c'est-à-dire que l'infrastructure est en déblai.

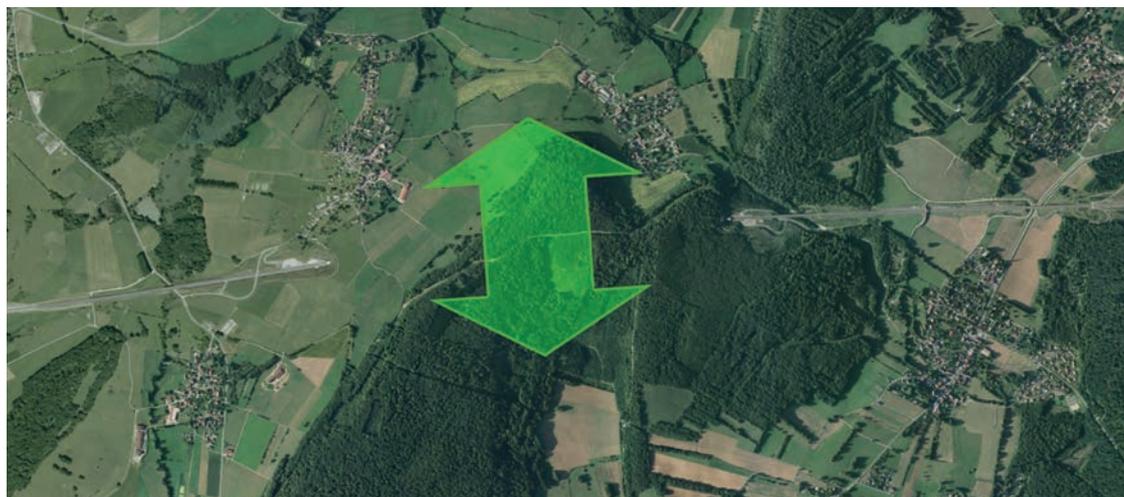


6 Tranchée couverte de l'autoroute A19 dans la traversée de la forêt de Montargis. Source : Arcour.

Le concept repose sur la réalisation d'une tranchée, maintenue de chaque côté par deux murs de soutènement parallèles sur lesquels vient reposer une dalle de couverture. Cette dalle est ensuite recouverte de terre et aménagée pour reconstituer les habitats naturels ;

- soit le passage en tunnel (7), qui correspond quant à lui au creusement d'une galerie souterraine au sein de la roche pour y faire passer l'infrastructure.

Bien qu'il s'agisse, le plus souvent, d'un choix ou d'une nécessité technique liée essentiellement à la conception de l'infrastructure, ces ouvrages profitent à la faune lorsque la surface n'est pas aménagée ou urbanisée. Le passage en tunnel de l'infrastructure a pour principal avantage d'assurer la préservation des habitats de surface sur toute la longueur (parfois importante) de l'ouvrage.



7 Tunnel de Chavanne (1 970 m de longueur). LGV Rhin-Rhône. Source : Geoportail.

Lorsque les passages inférieurs faune sont de très grande largeur et d'une faible longueur, ils sont généralement appelés viaducs (8). À l'image des tunnels, ils restituent ou maintiennent des possibilités immédiates et rapides de déplacements pour l'ensemble de la faune et surtout, ils conservent l'intégrité des habitats d'espèces présentant un très fort enjeu et limitent ainsi les destructions.

Pour ces passages, quelques restrictions peuvent toutefois exister si le tirant d'air* est trop petit, car des zones d'ombres ou la vision sur le flux de véhicules, peuvent limiter l'efficacité de la transparence.

Si les enjeux identifiés nécessitent un passage exceptionnel toute faune, la hauteur du tirant d'air doit ainsi être au minimum de 4 m pour éviter

le maximum de perturbations. Si l'ouvrage est réalisé en milieu forestier, le tirant d'air sera toutefois porté à 10 m pour tenir compte des enjeux liés à la faune volante.



8 Viaduc de Jaulny (Région Grand Est). LGV Est européenne. Source : RFF/CAPA/Laurent Rothan (TOMA).



Niveau d'enjeu de la continuité écologique ⁵	Largeur du passage (inférieur ou supérieur) au centre de l'ouvrage		Catégorie
	Spécifique ou mixte hydraulique	Mixte agricole/forestier (chemin < 5 m de largeur) Mixte agricole/forestier & hydraulique	
<ul style="list-style-type: none"> Enjeux importants de continuité entre des sites Natura 2000* proches et fortement connectés ou au sein d'un site Natura 2000 et/ou continuité écologique d'importance nationale. 	<p>> 60 m</p> <p>Pour les ouvrages hydrauliques, la largeur des deux pieds secs doit, dans tous les cas, être > 20 m</p>	<p>> 60 m</p> <p>Pour les ouvrages hydrauliques, la largeur des deux pieds secs⁶ doit, dans tous les cas, être > 20 m</p>	<p>Passages exceptionnels toute faune (ou paysagers)</p>
<ul style="list-style-type: none"> Enjeux importants de continuité entre ou au sein de sites protégés (RNN, PN, RNR) et/ou vaste massif forestier (> 2 000 ha) pouvant comprendre des mosaïques d'habitats intra-forestiers et/ou continuité écologique avec zone de transition vitale pour le maintien des populations de grands mammifères à enjeux (ex. : le lynx qui est très dépendant des continuités forestières). 	<p>50 m +/- 10 m</p> <p>Pour les ouvrages hydrauliques, la largeur des deux pieds secs doit, dans tous les cas, être > 15 m</p>	<p>50 m +/- 10 m</p> <p>Pour les ouvrages hydrauliques, la largeur des deux pieds secs⁶ doit, dans tous les cas, être > 15 m</p>	
<ul style="list-style-type: none"> Continuité écologique d'importance régionale et/ou enjeux importants de continuité au sein d'une ZNIEFF de type 1 et/ou vaste massif forestier (> 500 ha) et/ou continuité écologique avec enjeux importants de continuité pour les espèces protégées et patrimoniales. 	<p>35 m +/- 5 m</p> <p>Pour les ouvrages hydrauliques, la largeur des deux pieds secs doit, dans tous les cas, être > 10 m</p>	<p>40 m +/- 5 m</p> <p>Pour les ouvrages hydrauliques, la largeur des deux pieds secs⁶ doit, dans tous les cas, être > 10 m</p>	<p>Passages remarquables toute faune</p>
<ul style="list-style-type: none"> Corridor d'intérêt local avec déplacement de cervidés et/ou massif forestier d'intérêt (< 500 ha). 	<p>25 m +/- 5 m</p> <p>Pour les ouvrages hydrauliques, la largeur des deux pieds secs doit, dans tous les cas, être > 7 m</p>	<p>30 m +/- 5 m</p> <p>Pour les ouvrages hydrauliques, la largeur des deux pieds secs⁶ doit, dans tous les cas, être > 7 m</p>	
<ul style="list-style-type: none"> Corridor d'intérêt local sans déplacement de cerfs. 	<p>20 m +/- 5 m</p> <p>Pour les ouvrages hydrauliques, la largeur des deux pieds secs doit, dans tous les cas, être > 3 m</p>	<p>25 m +/- 5 m</p> <p>Pour les ouvrages hydrauliques, la largeur des deux pieds secs⁶ doit, dans tous les cas, être > 3 m</p>	<p>Passages ordinaires toute faune</p>

5 Critères alternatifs, le choix devant se porter sur le critère majorant.

6 Les chemins agricoles et forestiers ne font pas partie des pieds secs réservés à la faune.

■ Critères d'ajustement de la largeur du passage en fonction des enjeux

Si des tailles de référence ont été indiquées en fonction de l'importance des enjeux de continuité, ces recommandations sont à moduler en fonction

du contexte local et des caractéristiques du projet. Une marge de manœuvre (+/- X m) est ainsi proposée pour laquelle les éléments de discussion indiqués ci-dessous pourront être utilisés pour faciliter la définition de la taille définitive de l'ouvrage.

Critères susceptibles de tendre vers la limite haute de la catégorie de largeur

Enjeux particuliers d'espèces ou de populations d'espèces (présence d'une espèce patrimoniale).
Aménagement écologique particulier (réservation d'un espace spécifique pour une espèce exigeante en termes d'habitat).
Peu de différences de coût avec un ouvrage de plus petite taille ou gain économique grâce à une technique innovante.
Niveau de transparence globale faible à moyen : <ul style="list-style-type: none"> • peu de passages petite faune en raison des difficultés d'implantation (ex. : zone en déblai) ; • interdistance entre les passages toute faune proche de la moyenne minimale.
Difficulté de choix avec la catégorie supérieure.
Continuité écologique isolée (seul espace d'intérêt au sein d'un espace dégradé) où les déplacements vont potentiellement se concentrer.
Pour les passages mixtes, l'importance de la perturbation issue des autres usages (le franchissement de quelques piétons par jour est différent d'un passage régulier d'engins à moteur).
Accumulation d'enjeux qui ne sont pas liés (à la différence d'un vaste massif forestier classé en ZNIEFF et RN -> enjeux identiques).
Positionnement de l'ouvrage décalé par rapport aux enjeux les plus élevés au sein de la continuité (décalage par rapport à un axe de déplacement, décalage par rapport à un cordon d'habitat spécifique de la continuité...).
Aménagement des abords contraints (accès à l'ouvrage difficile, présence de coupure ou d'obstacle* au sortir du passage).
Largeur importante de la continuité traversée.

Critères susceptibles de tendre vers la limite basse de la catégorie de largeur

Contraintes techniques particulières empêchant la réalisation d'un passage de plus grande taille dans des conditions standards et acceptables.
Coût disproportionné par rapport aux enjeux.
Présence d'autres passages toute faune à proximité (< 1 km).
Connexion remarquable avec les autres passages toute faune.
Pour les passages mixtes, la faiblesse de la perturbation issue des autres usages (ex. : circulation exceptionnelle).

Les passages toute faune supplémentaires

L'aménagement de passages de taille réduite (largeur > 7 m) peut également participer à la défragmentation d'une infrastructure.

Ces ouvrages doivent toutefois être réservés :

- à l'aménagement de grandes sections, où les enjeux sont faibles, afin d'assurer une transparence minimale à l'infrastructure (cf. fiche n° 5) ;
- en complémentarité d'autres passages de plus grande taille, dans les vastes habitats très diversifiés (ex. : moyenne montagne, bocage...).

Catégorie	Niveau d'enjeu de la continuité écologique	Largeur des ouvrages au centre de l'ouvrage	
		Passages inférieurs	Passages supérieurs
Passages supplémentaires	<ul style="list-style-type: none"> • Habitat ordinaire avec absence totale de transparence sur plus de 3 km. • Habitat ordinaire avec absence de passage toute faune sur plus de 5 km mais présence de passage petite faune. • Vastes habitats très diversifiés en complément d'autres passages toute faune (respectant déjà les recommandations générales). 	7 m minimum	7 m minimum



Continuités écologiques d'importance nationale

Les continuités écologiques d'importance nationale (CEIN) ont été définies dans le cadre des orientations nationales TVB (décret n°2014-45 du 20 janvier 2014). Les CEIN correspondent à de grandes enveloppes écologiques cohérentes, à l'échelle nationale. Elles matérialisent ainsi des zones d'enjeux communs à plusieurs régions ou partagées entre une région et un pays frontalier. Des cartes par grandes catégories de continuités (milieux ouverts thermophiles, milieux boisés...) sont disponibles.

Elles ont généralement été reprises et déclinées dans les SRCE.



Continuités écologiques d'importance nationale : milieux boisés. Source : MNHN/SPN.

Continuités écologiques d'importance régionale

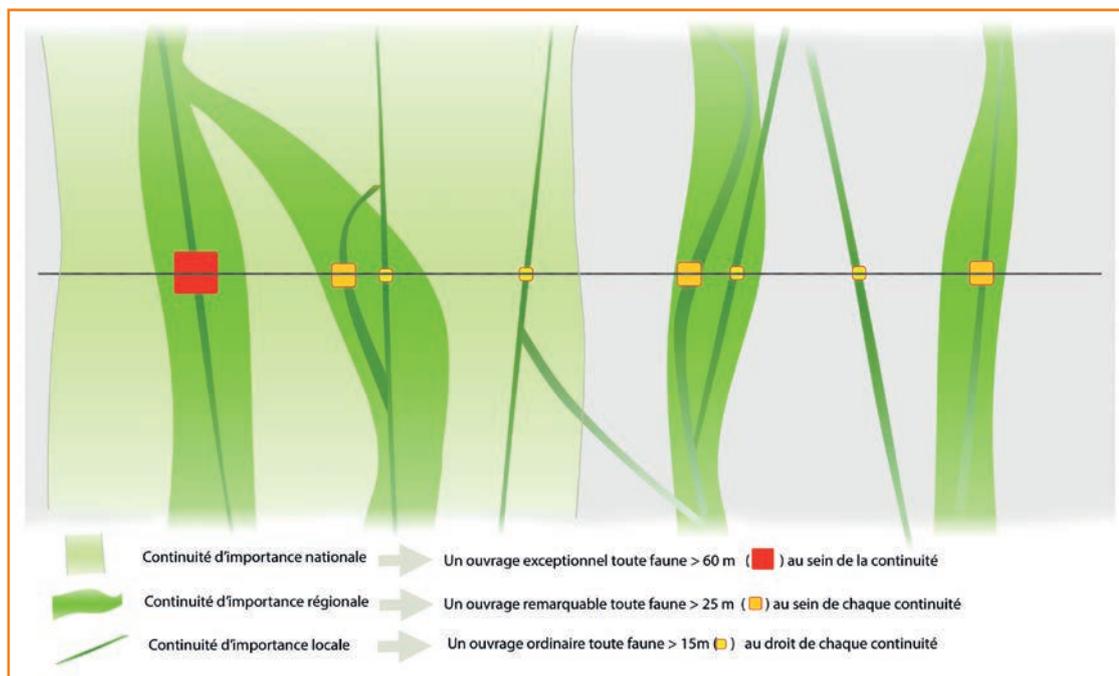
Il s'agit des continuités écologiques retenues dans le cadre de l'élaboration du SRCE (et reprises dans les SRADDET) pour constituer la trame verte et bleue* régionale.

Continuités écologiques d'importance locale

Ce sont les continuités définies à l'échelle communale par l'analyse du territoire ou déjà définies dans les documents de planification (en particulier ScoT, PLU, PLUi), qui prennent en compte les SRCE et qui identifient tous les espaces et éléments qui contribuent à la TVB et à sa fonctionnalité.

Les continuités d'intérêt national ou régional sont généralement très étendues et englobent plusieurs continuités de rang inférieur. Aussi, si la prise en compte du niveau d'importance d'une continuité doit se traduire par la réalisation d'un ouvrage de taille correspondante à ce niveau, l'objectif n'est pas

de concevoir tous les passages toute faune au sein de cette continuité avec de telles dimensions. Le but est bien de raisonner de façon progressive pour qu'au sein de chaque continuité au moins un ouvrage de rétablissement possède les dimensions requises à son niveau (9).



9 Représentation schématique de la répartition des catégories de passages en fonction de l'importance des continuités écologiques. Source : Cerema.

Largeur en fonction de la longueur de traversée

Pour les passages toute faune supérieurs

Pour les ouvrages supérieurs, les difficultés sont essentiellement liées aux ouvrages les plus modestes (ouvrages ordinaires toute faune 20 m +/- 5 m) dont la fonctionnalité peut être restreinte si la longueur de traversée est trop importante (effet couloir).

Pour limiter cet effet, il faudra veiller à respecter les rapports suivants :

$$\frac{\text{largeur}}{\text{Longueur}} > 0,4$$



Exemple : pour une longueur du passage de 30 m, un passage ordinaire pour lequel il est retenu une largeur de 20 m, le rapport $R1 = 0,66$ est conforme.

Par contre, avec une longueur de 60 m, le respect de la recommandation nécessite de porter la largeur de l'ouvrage à 24 m minimum.

Pour les passages toute faune inférieurs

La réalisation d'un passage inférieur doit respecter les conditions minimales de construction suivantes :

$H > 3,50 \text{ m}$
[> 4 m si présence de cervidés
ou passage exceptionnel toute faune]

$$\frac{\text{largeur} \times \text{Hauteur}}{\text{Longueur}} > 1,5$$

Dans la traversée des massifs forestiers, la prise en compte des enjeux liés à la faune volante peut conduire à augmenter la hauteur de l'ouvrage. Il est notamment recommandé pour les ouvrages les plus importants (passages exceptionnels) de porter cette hauteur à 10 m dans la traversée des massifs forestiers.



Exemple : pour une longueur de traversée de 30 m, un ouvrage ordinaire pour lequel il est retenu une largeur de 15 m et une hauteur de 3,5 m (en absence de cerf), le rapport $R2 = 1,75$ est conforme. Si la longueur de traversée est par contre de 50 m, le respect de la recommandation nécessite soit de porter la largeur de l'ouvrage à 21,5 m, soit d'augmenter la hauteur à 5 m, minimum.

Pour certaines situations préférer deux passages de taille inférieure plutôt qu'un passage de plus grande taille

La présence d'enjeux rapprochés mais importants peut conduire à préférer deux ouvrages de taille inférieure par rapport à la taille initialement recommandée. Cette possibilité est cependant liée à la présence de conditions particulières :

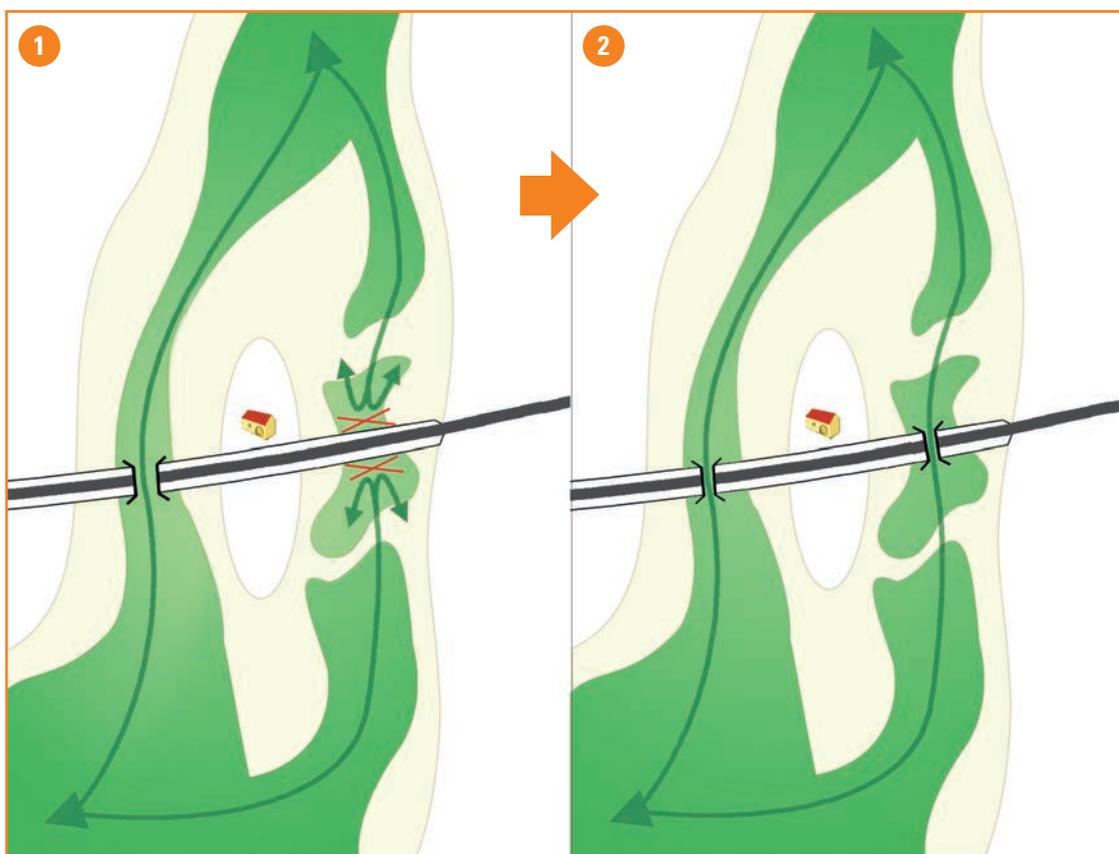
- lorsque deux continuités sont proches, connectées et appartiennent au même corridor écologique (10 page suivante) ;
- lorsque les milieux traversés sont riches, constitués de nombreuses structures paysagères qui conduisent à des échanges dispersés sur un vaste corridor écologique.

La fonctionnalité d'un ouvrage de taille inférieure n'est cependant pas équivalente. Pour cette raison, les deux ouvrages devront au minimum respecter

les tailles minimales de la catégorie de rang juste inférieure à celle nécessitée pour un passage unique (cf. exemple ci-dessous).



Exemple : pour une continuité écologique d'importance régionale, la taille de l'ouvrage recommandée est de 35 m $\pm 5 \text{ m}$ pour un ouvrage spécifique. S'il est choisi de réaliser deux ouvrages, la largeur de chacun des deux ouvrages spécifiques doit être au moins de 25 m $\pm 5 \text{ m}$ (taille recommandée par exemple pour des corridors écologiques locaux avec déplacement de cervidés), soit 50 m de largeur totale de rétablissement répartis sur deux ouvrages.



10 Schéma représentant deux continuités écologiques proches et reliées pouvant justifier la création d'un ouvrage de franchissement de taille réduite sur chacune d'entre elles (2) plutôt qu'un seul ouvrage de plus grande taille (1). Source : Cerema.

Largeur en fonction de la présence de cortèges cibles présentant un enjeu particulier

Les dimensions indiquées sont prévues pour offrir une efficacité optimale du rétablissement des continuités écologiques, en fonction de leur intérêt. La présence d'espèces patrimoniales et/ou protégées peut également conduire à aller au-delà des préconisations. Chaque situation est dans ce cas spécifique.

La largeur de l'ouvrage est alors définie en fonction du résultat des études de la distribution spatiale et de l'organisation des habitats des espèces (domaine vital*, axe de déplacement) et du fonctionnement écologique des populations de ces espèces (densité, répartition...).



Exemple : dans le cadre du projet de contournement ouest de Strasbourg, la prise en compte du grand hamster a conduit le concessionnaire à proposer la réalisation de deux ouvrages supérieurs de grande taille, au sein d'un espace agricole dépourvu de continuités écologiques bien localisées (mis à part quelques chemins en herbe), mais au sein de l'espace de vie de la population de hamsters.

En France, le hamster commun n'est présent qu'en Alsace. C'est une espèce protégée dont la présence est menacée sur le territoire national.



Comment dimensionner l'ouvrage ?

La largeur d'un passage est avant tout définie en fonction de l'importance des continuités à rétablir. Logiquement, plus l'enjeu de la continuité à rétablir est important plus l'ouvrage doit être large et permettre de réaliser des habitats naturels correspondant à la diversité des espèces utilisatrices.

Si le passage est mixte (jusqu'aux ouvrages remarquables, car au-delà ce n'est pas indispensable), il est nécessaire de prévoir un élargissement supplémentaire par rapport à un passage spécifique pour que l'espace disponible et réservé pour la faune reste équivalent et permette de maintenir un maximum de tranquillité.

Pour les passages supérieurs, la largeur doit également tenir compte de la longueur de traversée pour éviter l'effet « couloir ». Pour limiter cet effet, le rapport suivant doit être respecté :

$$\frac{\text{largeur}}{\text{Longueur}} > 0,4$$

De la même manière pour les ouvrages inférieurs, la hauteur doit être au minimum de 3,5 m (4 m en présence de cerfs ou pour les passages exceptionnels toute faune) et respecter les prescriptions suivantes :

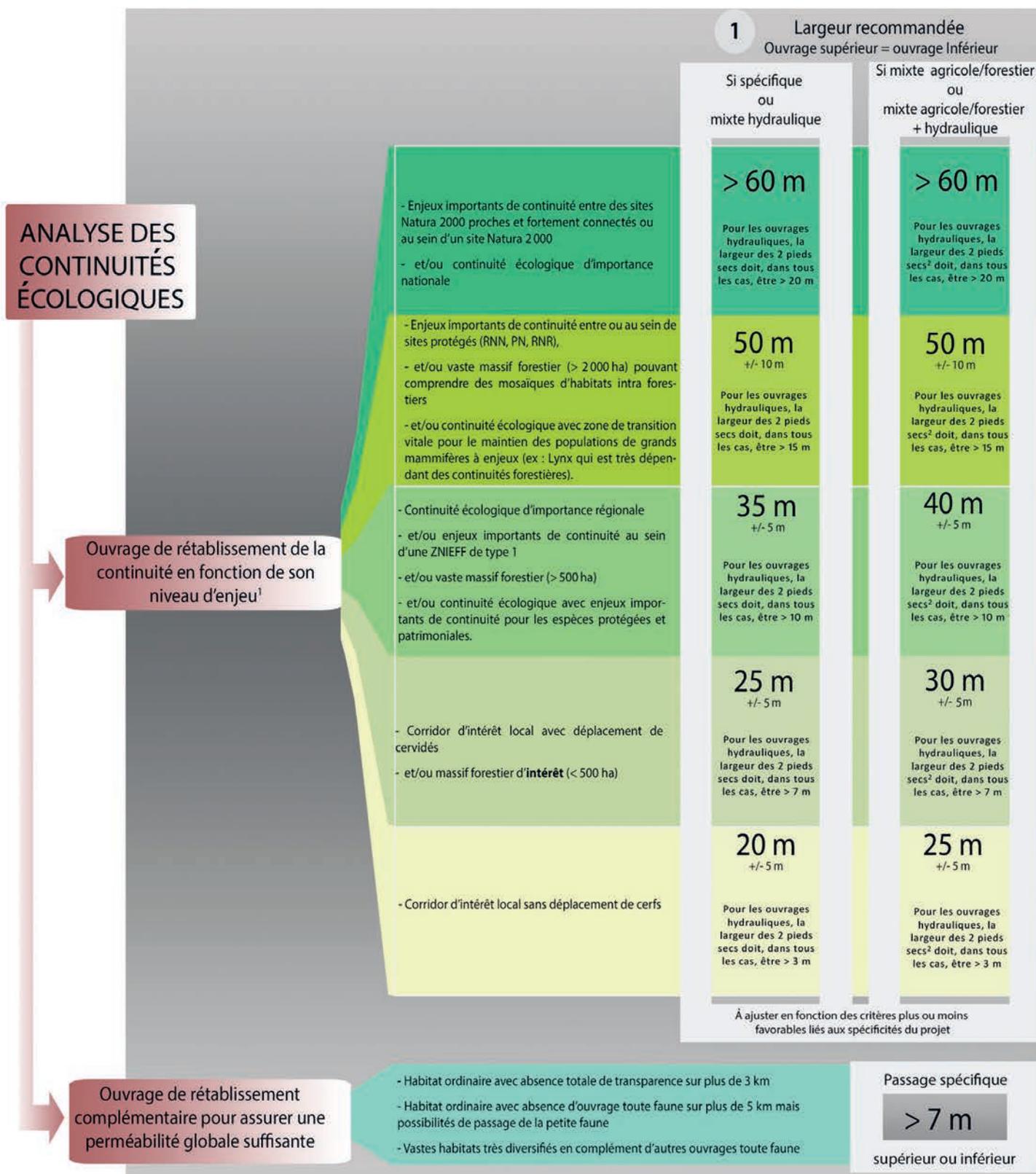
$$\frac{\text{largeur} \times \text{Hauteur}}{\text{Longueur}} > 1,5$$

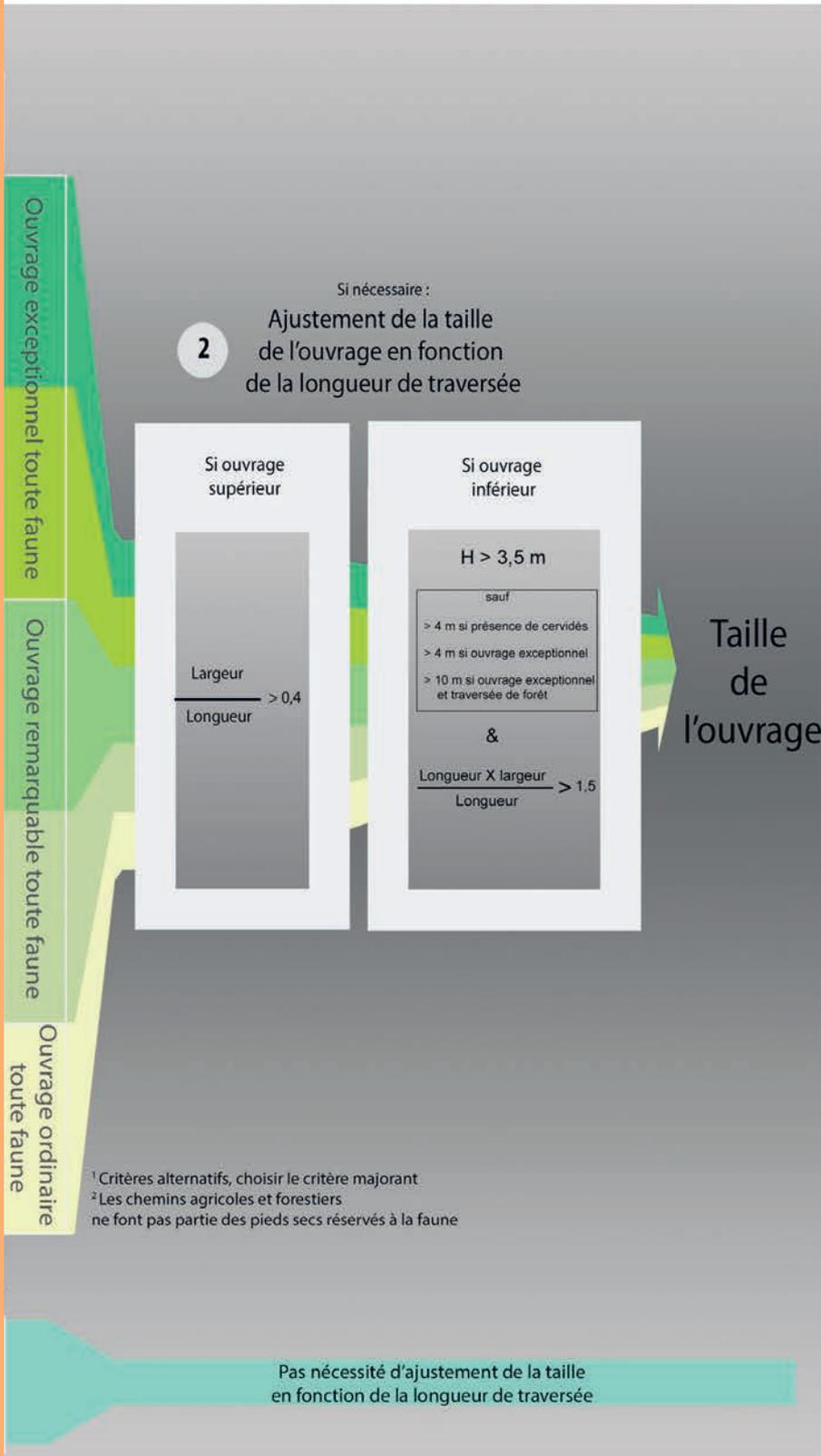
Dans la traversée des massifs forestiers, la hauteur sera portée à 10 m pour les passages exceptionnels toute faune afin de tenir compte de la faune volante.

Les ouvrages hydrauliques sont dimensionnés à la fois en fonction de l'intérêt de la continuité, mais aussi en tenant compte de l'emprise du cours d'eau sous l'ouvrage, de façon à disposer d'une largeur minimum de pieds secs sur chaque rive.

Dans certaines situations (continuités proches et connectées, milieux riches), il est possible de préférer deux ouvrages de taille inférieure plutôt qu'un ouvrage de plus grande taille.

La présence d'une espèce à enjeu particulier peut également, à elle seule, conduire à préconiser un ouvrage de grande taille, notamment si ses exigences écologiques nécessitent la réalisation d'une mosaïque d'habitats naturels.





¹ Critères alternatifs, choisir le critère majorant
² Les chemins agricoles et forestiers ne font pas partie des pieds secs réservés à la faune



Groupe d'espèces	Espèce	Passage toute faune				Passage petite faune							
		Exceptionnel		Remarquable		Ordinaire		Ouvrage non dédié à la faune équipé de banquettes* enherbées	Passage canopée	Tunnel amphibien (double sens)	Petit ouvrage hydraulique équipé d'une banquettes*	Ouvrage de talweg sec	Ouvrage simple
Supérieur (tranchée couverte, tunnel)	Inférieur (viaduc)	Supérieur	Inférieur (viaduc)	Supérieur	Inférieur	Supérieur ou inférieur							
Ongulés	Cerf	●	● (si H > 4 m)	●	● (si H > 4 m)	○	○ (si H > 4 m)	○	x	x	x	x	x
	Chevreuril, chamois	●	●	●	●	●	●	○	x	○	○	○	○
	Sanglier	●	●	●	●	●	●	○	x	○	○	○	○
	Ours brun	●	●	●	●	●	●	○	x	x	x	x	x
	Lynx	●	●	●	●	○	○	○	x	○	○	○	○
	Loup	●	●	●	●	●	●	●	x	x	x	x	x
	Renard	●	●	●	●	●	●	●	x	●	●	●	●
	Chat sauvage	●	●	●	●	●	●	●	x	●	●	●	●
	Blaireau	●	●	●	●	●	●	●	x	●	●	●	●
	Loutre	○	● (Mixte hydraulique) ○ autres	○	● (Mixte hydraulique) ○ autres	○	● (Mixte hydraulique) ○ autres	○ (Inférieur mixte hydraulique) ○ Supérieur	x	○	●	○	○
Carnivores	Marte Fouine	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●
	Autre petit mustéliné	●	●	●	●	●	●	●	x	●	●	●	●
	Genette	●	●	●	●	●	●	●	?	●	●	●	●



Lagomorphes	Lièvre	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○
	Lapin	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○
	Hérisson	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○
	Musaraigne	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Insectivores	Écureuil roux	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Muscardin	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Souris Campagnol	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Castor	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○
Reptiles	Serpent	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Lézard	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Tortue terrestre	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Amphibiens		○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○
		○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○
Invertébrés terrestres	Espèces d'habitats secs	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Espèces d'habitats humides	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Chauves-souris		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○
		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○

● Solution optimale
○ Susceptible d'être utilisé en fonction des conditions locales et de la taille
○ Utilisation exceptionnelle dépendant également de la taille de l'ouvrage

? Inconnu, plus d'expérience requise
x Inapproprié

FICHE 7

FICHE

8

Comment concevoir et aménager les passages toute faune ?

Si l'efficacité d'un passage dépend de sa localisation et de ses caractéristiques techniques, son utilisation par la faune dépend également de son intégration dans l'environnement, liée, en particulier pour les passages supérieurs, à l'aménagement du tablier et de façon plus générale à l'aménagement des abords. Une attention particulière doit ainsi être apportée aux détails de conception et à leur gestion future, pour que l'intégration de l'ouvrage dans le réseau écologique et son efficacité future soient les plus favorables.

Ces conditions nécessitent de disposer d'une vision large, allant au-delà du passage et des emprises de construction, afin que l'aménagement global

s'intègre au mieux et qu'il soit, à terme, efficace et durable dans le temps.



Exemple d'aménagement du tablier d'un ouvrage.
Source : Vinci Autoroutes/Réseau ASF.

Aménagement des passages supérieurs

Diminution de la longueur de traversée : culées en mur de front

Afin de guider au mieux la faune vers l'entrée des ouvrages et de disposer d'une longueur de traversée la plus courte possible sur la partie la plus étroite de l'ouvrage (généralement le centre), il est préconisé d'élargir au maximum les entonnements (entrée du passage).

Il n'est pas nécessaire d'intégrer à l'ouvrage des entonnements courbes (souvent trop coûteux), mais de privilégier plutôt un tablier rectangulaire à partir duquel seront aménagés des entonnements évasés. On privilégiera notamment la réalisation de culées en mur de front (1 et 2 page suivante), afin de rapprocher le plus possible l'entonnement de l'infrastructure.

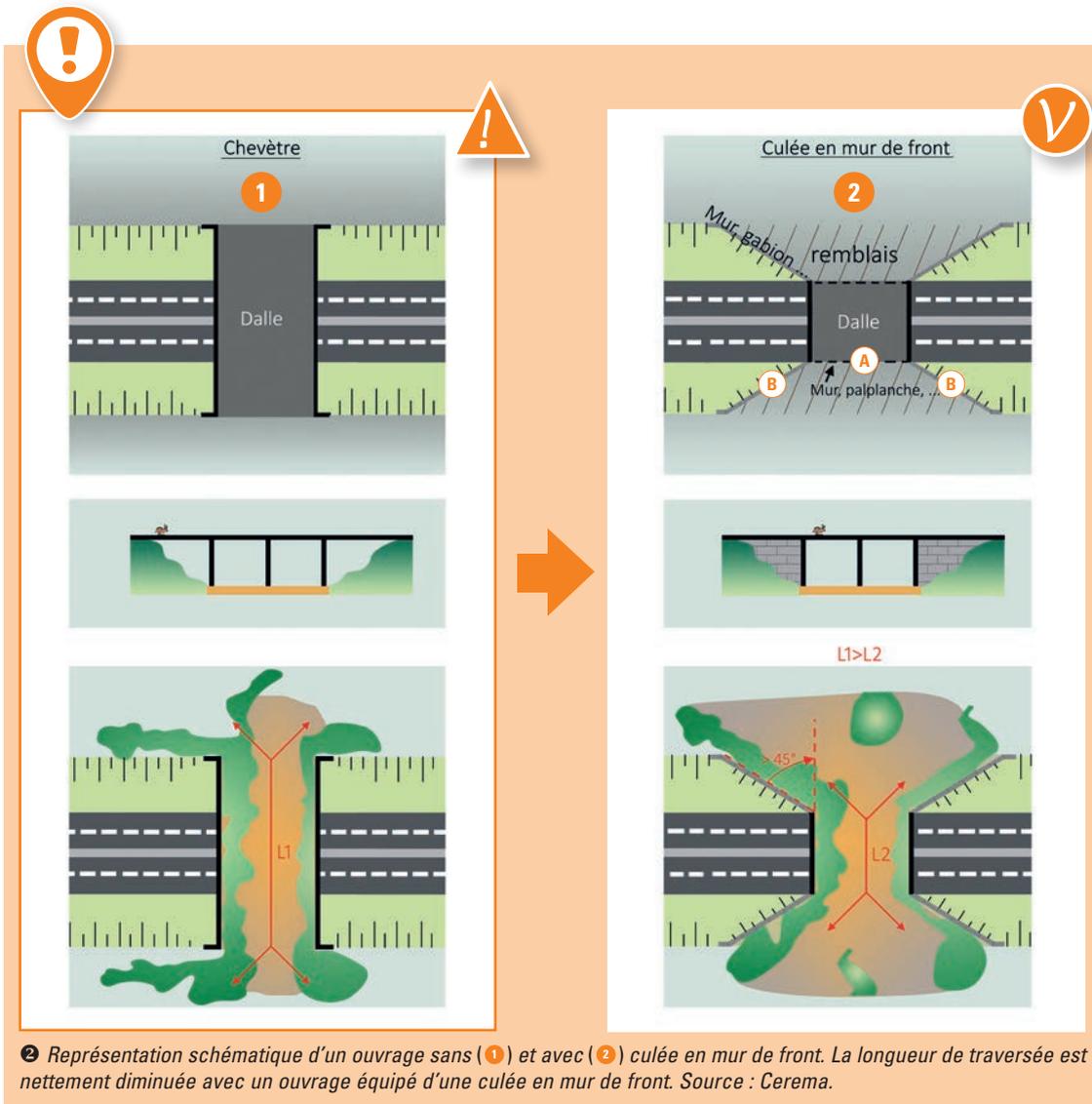
Il s'agit de concevoir pour la culée de l'ouvrage (partie située sur la rive destinée à supporter le poids du tablier) une paroi verticale (palplanches, mur béton) au plus proche de la chaussée (2 2 A page suivante).



1 Passage supérieur équipé d'une culée en mur de front.
Source : ATMB - Arnaud Lesueur.

Cette culée est généralement associée à des murs de soutènement « en aile » (murs bétons, gabions*...) en sortie de l'ouvrage, avec une large ouverture (supérieure > 45 °) (2 2 B page suivante).

Un tel dispositif constitue ainsi un système de retenue qui, une fois chargé en matériaux, permet d'augmenter la largeur des entrées et ainsi de réduire la longueur de traversée de l'ouvrage dans sa partie la plus étroite.



Aménagement végétal du tablier

■ Structure de la végétation

L'avantage des passages supérieurs est de pouvoir végétaliser le tablier. L'objectif recherché est alors, lorsque c'est possible, de créer des corridors favorables pour chaque grand type d'habitat ou de cortège faunistique. Il n'est toutefois pas conseillé de créer une mosaïque désordonnée de milieux, mais bien de constituer des couloirs spécifiques pour chaque habitat qui traverse l'ouvrage, de part en part, en les connectant aux habitats qui ont été séparés par l'infrastructure. La taille de ces couloirs est déterminée à la fois en fonction de l'espace disponible et de la qualité de l'habitat souhaitée.

L'aménagement végétal doit par ailleurs être réalisé au plus tôt (avant la mise en service) afin d'être fonctionnel le plus rapidement possible (③).



L'aménagement végétal du passage doit être réalisé et opérationnel au plus tôt et si possible avant la mise en service de l'infrastructure.



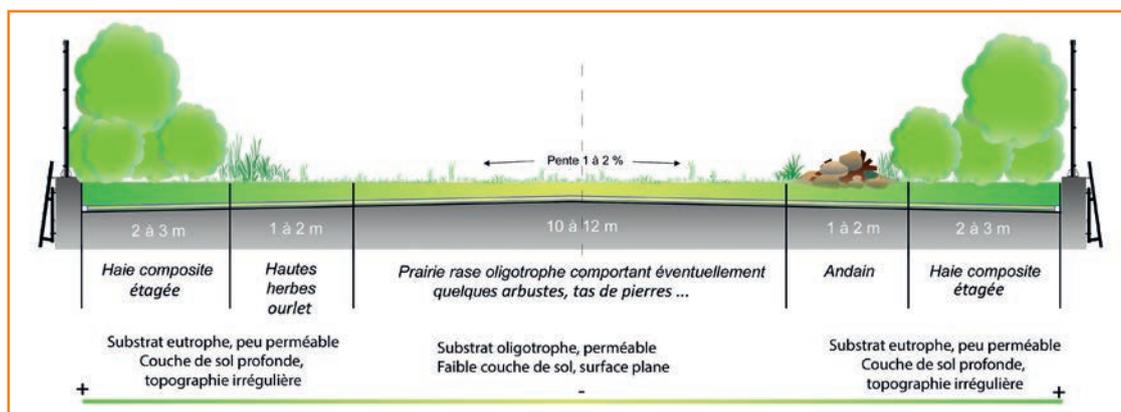
③ Exemple d'un passage en Allemagne (B50 à Wehlen) déjà fonctionnel en phase chantier. Source : Google Earth.

Sur les ouvrages de plus petite taille (passage ordinaire toute faune), la faiblesse de l'espace disponible réduit les possibilités de diversification des habitats. L'aménagement peut alors se limiter à la plantation de haies arbustives denses de chaque côté, le long des parapets d'occultation, (4, 5 et 6 page suivante). Ces haies (cf. encarts « plantation de haies et de boisements ») assurent ainsi la continuité du cordon de végétation courant le long des clôtures, voire la continuité avec les espaces boisés traversés. L'espace central est réservé à une zone plus ouverte de prairie rase (semis 10 à 20 g/m²) permettant des vues dégagées sur l'entrée du passage (cf. encart « végétaux d'origine locale garantie »). Quelques aménagements

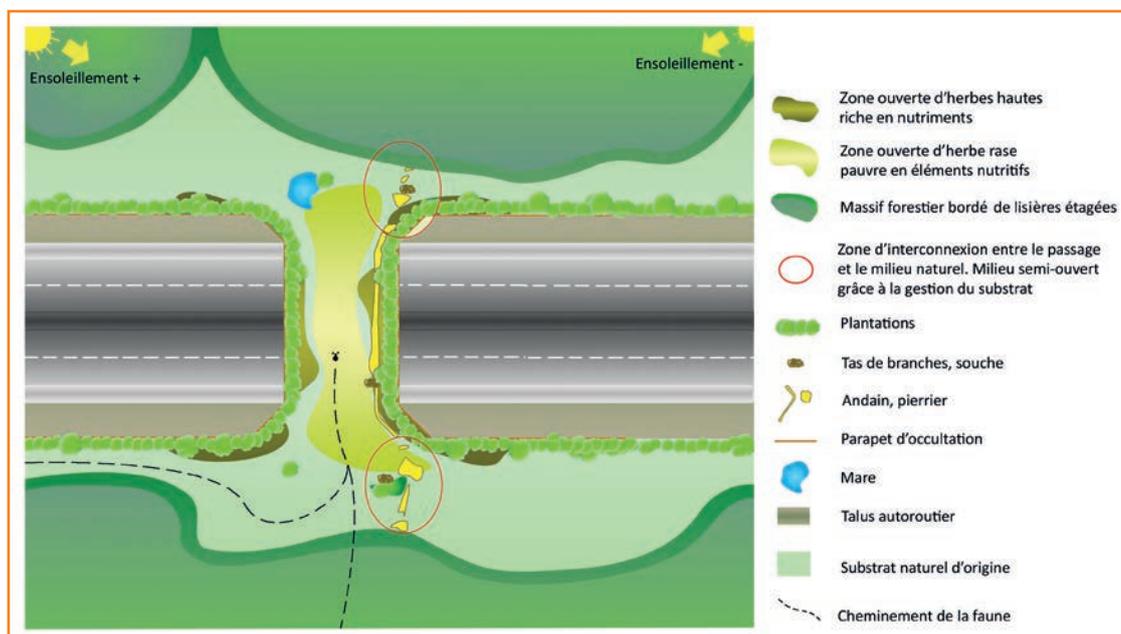
complémentaires (ex. : andains*, buissons taillés en cépées, arbres isolés, en particulier fruitiers) peuvent compléter l'aménagement et renforcer l'attractivité, sans toutefois constituer un masque végétal.



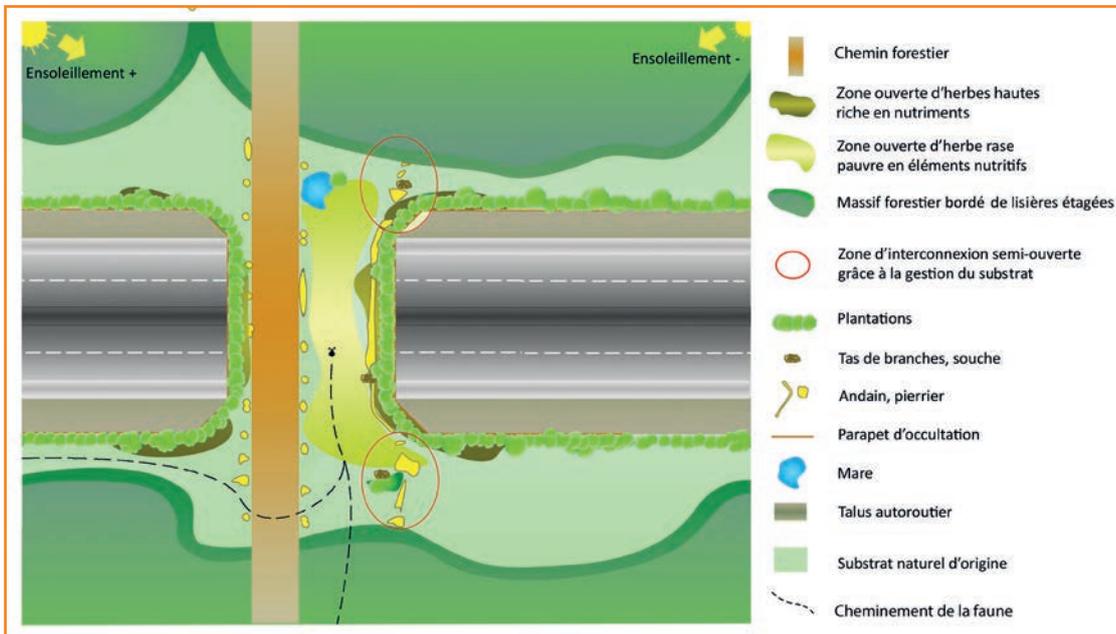
Écopont* végétalisé. Source : © Photothèque VINCI Autoroutes – Emmanuel Rondeau.



4 Exemple schématique d'aménagement d'un passage ordinaire toute faune. Source : Cerema.



5 Exemple schématique d'aménagement d'un passage supérieur ordinaire en contexte forestier. Source : Cerema.



6 Exemple schématique d'aménagement d'un passage supérieur ordinaire mixte en contexte forestier. Source : Cerema.



Plantation de haies et de boisements

Composition

Pour assurer une meilleure diversité et pérennité de la structure paysagère, les plantations doivent être constituées d'un mélange d'arbres et d'arbustes, idéalement de 4 à 8 essences différentes, voire plus.

Les essences doivent être d'origine locale et adaptées au sol en présence. Le mieux est de s'inspirer des essences présentes sur le territoire traversé. Ces végétaux doivent être choisis en fonction du rôle qu'ils doivent assurer à terme. Les plantes doivent également pouvoir survivre aux conditions auxquelles elles seront exposées. Elles seront donc choisies en fonction de l'épaisseur du sol reconstitué, du type de substrat et des conditions locales. Le dispositif doit également être compatible avec les conditions de gel et d'ensoleillement. Enfin, il pourra être tenu compte de la vulnérabilité des essences au changement climatique.

Le choix doit également s'orienter vers un mélange d'espèces qui fleurissent et fructifient différemment et de façon décalée au fil de l'année, de manière à répondre à un maximum de besoins pour un maximum d'espèces animales.

Il faut préférer les jeunes plants de moins de trois ans, car ils s'adaptent plus vite. Pour les arbres qui doivent constituer la strate arborescente (essentiellement aux entrées du passage et non sur le tablier), il convient de choisir des baliveaux* de moins de 2 m de hauteur. Une protection individuelle de type manchon de grillage est nécessaire, notamment pour les fruitiers, pour éviter l'abroussement et les frottis des cervidés.

Ce dispositif est à compléter de quelques essences qu'il est possible de recéper de manière à favoriser la densification du boisement.

.../...

Protection des plants

Le sol doit être recouvert par un paillage naturel et biodégradable (résidus de broyage de branches de feuillus (éviter les résineux) tels que le chêne, le hêtre, l'érable...) pour chaque rang sur une largeur de 1 m avec une épaisseur de 15 à 20 cm de matériaux pour protéger les plants contre la végétation concurrente, favoriser l'activité biologique du sol, conserver son humidité et modérer la température.

Si les populations de sangliers sont localement importantes, préférer éventuellement des bâches biodégradables ancrées au sol.

Des dispositifs d'arrosage ou interventions manuelles peuvent être nécessaires à la reprise durant les deux ou trois premières années.

Période de plantation

Elle s'étend de novembre à mi-mars, en veillant à planter en dehors des périodes de gel. En zone méditerranéenne, préférer des plantations d'automne pour une meilleure résistance au stress hydrique l'année suivante.

Implantation

- Pour une haie : disposer les plants en quinconce sur 2 rangs espacés de 1 m environ, afin qu'à terme la haie constitue un écran suffisamment dense, de type lisière étagée. Espacer les plants de 50 cm pour les sujets de moins de 1 m de haut, de 60 à 80 cm pour les arbustes de 1 à 2 m, et de + de 2,50 m pour les arbres (à réserver aux abords des ouvrages et non sur le tablier où l'on préférera de grands arbustes). La haie doit être plantée à 1-2 m de la clôture ou du parapet.
- Pour un boisement : si les lisières peuvent être conçues à l'image des haies, le centre du boisement doit être constitué de plusieurs lignes (4-5) de grands arbustes disposés de façon irrégulière.

Constat de reprise des plants

Veiller à intégrer dans les prestations de plantations une garantie de reprise de végétation d'au moins deux saisons. En cas de remplacement en fin de période de garantie, il faudra veiller aux conditions de remplacement et à bien identifier la cause des mortalités de végétaux : s'ils ont séché, car inadaptés, il faudra changer d'essence.



Le prix d'une haie sur une ligne de 1 m de large varie entre 10 et 150 €/ml, en fonction, entre autres, de la taille des végétaux.

Lorsque la largeur du passage est suffisante, l'aménagement peut être plus complexe. L'objectif est alors de rétablir une majorité des habitats fragmentés. Même s'il n'existe pas de règle précise concernant l'aménagement, il est préconisé de réserver au minimum 30 à 40 % de la largeur à l'espace majoritairement traversé (forestier, lande...). Chaque autre type d'habitat peut alors constituer des bandes allant de 10 à 25 % de l'espace, voire plus, en fonction du nombre de milieux à reconnecter. Dans tous les cas, l'ensemble des espaces ouverts (herbe rase, herbes hautes, andains*...) doit occuper au moins 60 % de la largeur.

Si les types d'habitats à reconstituer et leur importance varient en fonction du contexte dans lequel s'insère le passage, l'aménagement végétal doit généralement comprendre (7, 8 et 9 pages suivantes) :

- un espace boisé arbustif (voire arboré pour les plus grands passages) constituant un milieu fermé, favorable notamment aux espèces qui se déplacent sous un couvert forestier, à l'image de nombreux coléoptères* terrestres ou des petits mammifères. Cet espace se développant sur un substrat eutrophe* et profond (cf. encart « plantations de haies et de boisements ») est à privilégier du côté où l'ensoleillement est le plus faible ;

- une zone ouverte sur substrat riche, peu perméable et non compacté qui favorise le développement d'une végétation herbacée haute occupant les deux lisières de l'espace boisé. Cet espace favorise notamment le déplacement des micro-mammifères*, des orthoptères*, des chiroptères*... La végétation doit être spontanée ou bénéficier d'un ensemencement adapté au contexte naturel et local (ex. : cf. encart « label végétal local et vraies messicoles* »). Elle est simplement entretenue pour éviter la pousse des buissons ;
- sur la partie la plus ensoleillée, un espace de prairie oligotrophe* assez large où l'herbe rase (végétation spontanée ou ensemencement adapté au contexte naturel et local) pousse sur un sol pauvre plus ou moins compacté et perméable. Ces milieux sont souvent utilisés par les mammifères, les amphibiens, les reptiles et de nombreux insectes. Au sein de l'espace ainsi constitué, en fonction de sa largeur, quelques unités de végétation arbustive en bouquet peuvent être ajoutées pour renforcer les zones de tranquillité sur le passage.

Ces petites entités nécessitent alors d'augmenter très localement la hauteur du substrat (ex. : butte de terre).

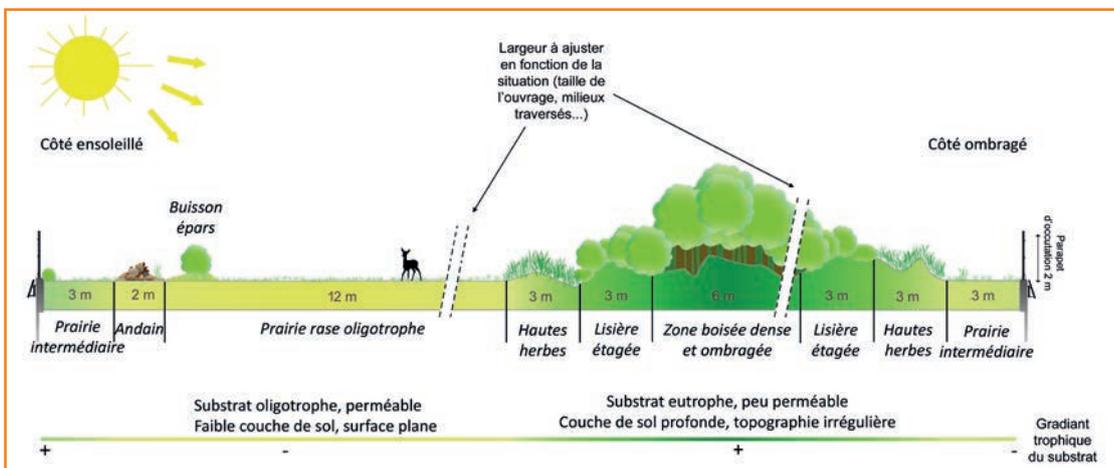
L'aménagement végétal est complété par l'implantation d'habitats secondaires, de façon à favoriser l'accueil et le passage d'un maximum d'espèces (cf. chapitre suivant).

Si la connexion entre les habitats situés de part et d'autre de l'ouvrage est à rechercher, il faut toutefois bien veiller à ce que ces aménagements ne créent pas de barrière au niveau des points de croisement entre les différents réseaux d'habitats et ce notamment au sortir de l'ouvrage. Les zones forestières denses ou les structures de type andains*, peuvent notamment constituer des obstacles* importants pour les espèces terrestres non inféodées à ces milieux. Une attention particulière doit ainsi être portée au niveau de ces points de jonction. Il sera ainsi préféré une mosaïque d'habitats imbriqués à la constitution de couloirs monospécifiques (cf. schémas 5, 6, 8 et 9).

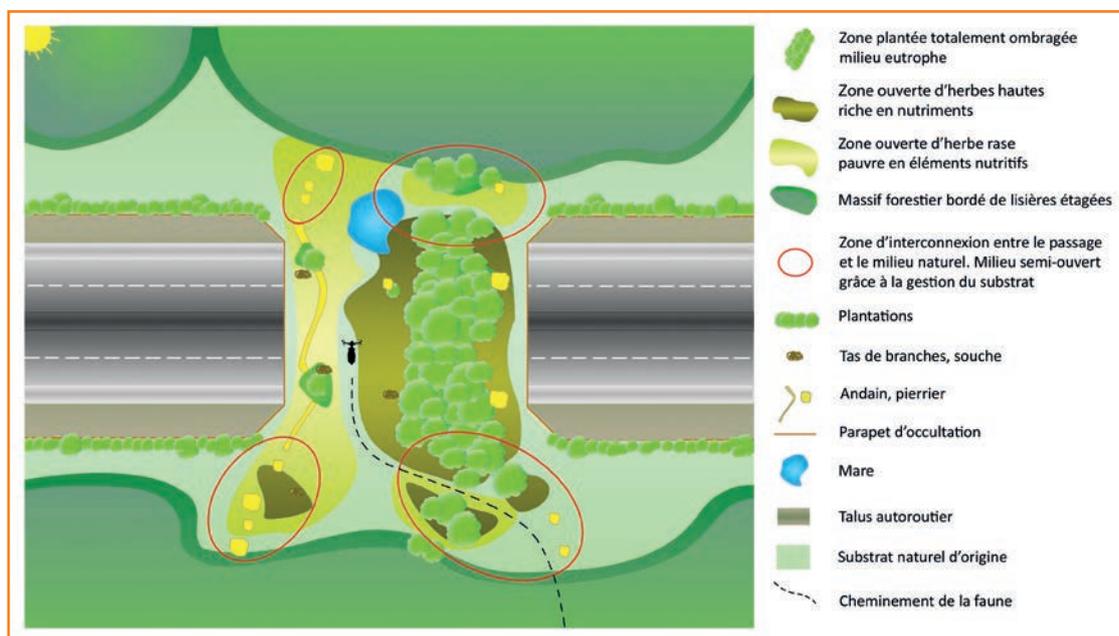


Des végétaux d'origine locale garantie

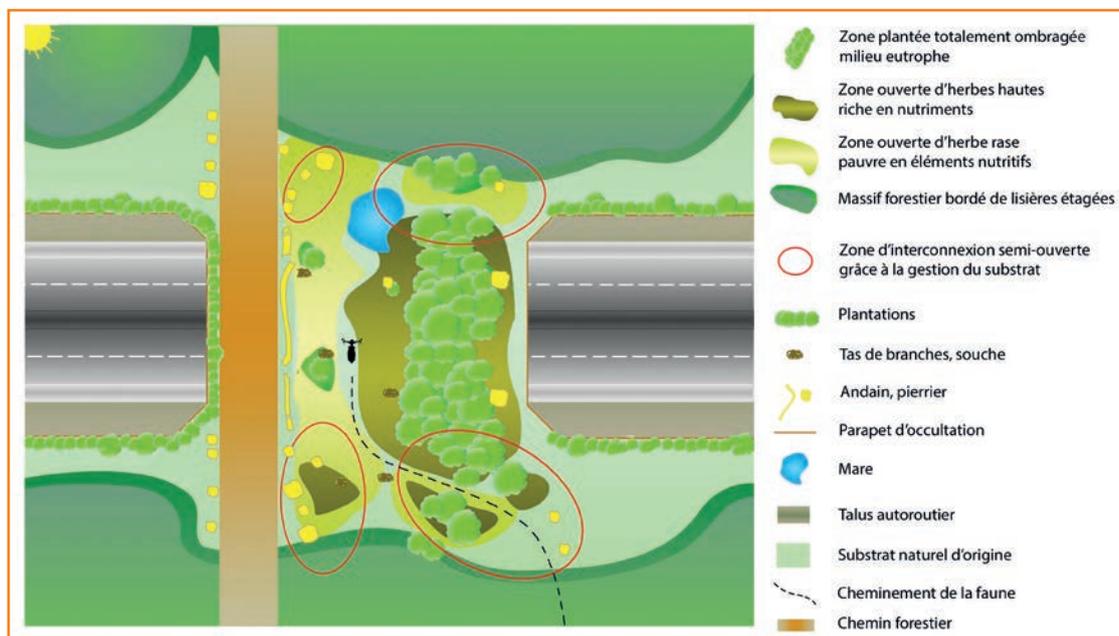
Dans le cadre d'un partenariat, le réseau des Conservatoires botaniques nationaux, Plante et Cité et l'Acfa-Agroforesteries ont élaboré une démarche visant à promouvoir les filières de production de plantes ou d'arbres adaptés à des territoires spécifiques, en créant les labels « Végétal local » et « Vraies messicoles ». L'objectif est de fournir des plantes sauvages de provenance locale dont l'origine est garantie. Les semences sont prélevées dans le milieu naturel par territoire (11 régions biogéographiques indépendantes des régions administratives ont été définies comme trame réglementaire de la marque) et ont ainsi conservé un maximum de diversité génétique leur garantissant une bonne adaptation à court et long termes. Les végétaux sont appropriés pour la restauration écologique ou tout autre aménagement dont l'objectif est la conservation de la biodiversité* (trame verte et bleue*, gestion des espèces exotiques envahissantes..).



7 Exemple schématique d'aménagement d'un passage remarquable en contexte forestier. Source : Cerema, d'après BN Federal agency for Nature conservation, 2019.



⑧ Exemple schématique d'aménagement d'un passage remarquable en contexte forestier. Source : Cerema, d'après BN Federal agency for Nature conservation, 2019.



⑨ Exemple schématique d'aménagement d'un passage remarquable mixte en contexte forestier. Source : Cerema.

■ Structure du sol

La végétalisation du tablier du passage faune nécessite une série de couches de matériaux choisis en fonction des caractéristiques de la végétation souhaitée, du climat et des caractéristiques de l'ouvrage.

Ces dispositifs doivent à la fois permettre l'alimentation en eau des végétaux et donc leur développement, tout en assurant le drainage du sol et la protection contre la pénétration des racines.

Depuis la surface, il faut successivement distinguer (10) :

- **la couche végétale :**

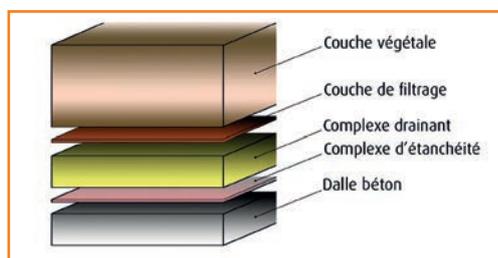
- substrat : terre végétale riche en éléments nutritifs, peu perméable, sur les zones accueillant des boisements ou de l'herbe haute.

Seule ou en mélange avec du sable ou du sable graveleux (0-6 mm) et pauvre en éléments nutritifs, pour constituer des zones plus oligotrophes*. Ce substrat peut localement être compacté (toujours de façon linéaire dans le sens de la traversée), afin d'augmenter au sein de l'espace la diversité et la création de microhabitats. Attention également à adapter la nature des terres à celles des milieux avoisinants, en particulier le pH et le taux, voire l'absence, de calcaire, qui conditionnent directement le cortège floristique et donc les espèces (notamment les insectes) qui vont utiliser l'ouvrage (en zone siliceuse, interdire la terre pourvue en Ca actif et les andains* ou enrochements en calcaire).

Sur les zones accueillant les boisements ou les habitats d'herbes hautes, il est intéressant de disposer d'une microtopographie irrégulière du sol de manière à augmenter l'éventail de microconditions et donc de microhabitats. À l'inverse, les zones d'herbe rase peuvent rester planes pour faciliter l'entretien (fauchage éventuel),

- épaisseur : de 20-30 cm à 1,5 m en fonction du choix de la végétation souhaitée et du contexte climatique local. La végétalisation nécessite une épaisseur minimale de 20-30 cm pour les semis de type herbacé et il n'est pas recommandé d'aller au-delà de 90 cm si on souhaite limiter la taille des boisements et le poids devant être supporté par l'ouvrage. L'épaisseur de terre est ainsi généralement de 30 cm sur la majeure partie de l'ouvrage et les épaisseurs les plus importantes (60-90 cm) sont réservées aux espaces accueillant les milieux arbustifs (pour une structure arbustive, généralement 60 cm de terre suffisent, mais 90 cm est parfois préférable dans les zones où les précipitations moyennes annuelles sont inférieures à 500 mm).

Sur les plus grands ouvrages, lorsqu'une structure arborée est possible et souhaitée, l'épaisseur de terre peut être portée à 1,5 m ;



10 Coupe schématique des différentes couches de matériaux d'un passage végétalisé. Source : Cerema.

- **la couche de filtrage :** il s'agit d'un géotextile anticontaminant dont l'objectif est simplement de laisser pénétrer l'eau tout en retenant les particules fines de la couche végétale ;



Phase d'étanchéité et de drainage du tablier. Source : Vinci Autoroutes/Réseau ASF.

- **le complexe drainant :** le complexe drainant doit être conçu pour diriger l'eau vers les drains et éviter son accumulation excessive dans le substrat. Le système de drainage correspond le plus souvent à un lit de cailloux drainants de 5 à 10 cm entre deux couches de géotextile. Ce complexe est associé à des drains situés de chaque côté de l'ouvrage pour permettre d'évacuer les eaux vers l'extérieur de l'aménagement ;

- **le complexe d'étanchéité,** qui généralement sur les ouvrages béton correspond à une couche d'asphalte gravillonnée de quelques centimètres (avec éventuellement une bande bitumineuse préalablement collée à la dalle), permet de protéger l'ouvrage en assurant à la fois l'étanchéité et le rôle de barrière antiracines. Si les eaux d'infiltration dans le sol sont évacuées par le complexe drainant, le ruissellement des eaux de surfaces nécessite :

- une pente douce (2-3 %) du terrain de l'ouvrage à partir de son axe longitudinal vers les côtés,
- une pente globale de 2 à 3 % depuis le centre de l'ouvrage vers les entrées si double pente ou > 1 % si pente unique.

L'eau ainsi évacuée peut être utilisée pour alimenter des points d'eau (cf. mares*).



APRR mène actuellement des expérimentations visant à alléger la structure du revêtement des ouvrages destinés au passage de la faune, afin de réduire les charges à prendre en compte pour leur dimensionnement. Les revêtements expérimentaux utilisés (sols allégés sans et avec une structure de renforcement alvéolaire en PEHD ou en bois, toiture « jardin ») ont été choisis en fonction de plusieurs critères : avoir une réserve en eau suffisante pour permettre un développement correct de la végétation, résister au piétinement lié au passage des animaux et le possible affouillement (blaireau, sanglier), être pérennes et être les plus légers possible.



Exemple du passage à faune de Ville-sous-la-Ferté (A5).
Source : Cerema.

Ces aménagements sont accompagnés à la fois d'un suivi de l'évolution et de la qualité de la végétation, ainsi que d'un suivi de la fréquentation du passage par la faune avant et après aménagements (en cours), afin d'évaluer l'appropriation de l'ouvrage par les animaux.

Aménagement d'habitats complémentaires sur le tablier

■ Andains*

Un andain correspond à une structure linéaire plus ou moins continue de 1 à 2 m de large, sur 0,7 à 1 m de haut, constituée d'un amas de différents matériaux naturels :

- blocs (Ø 20 à 80 cm) avec deux catégories de tailles pour créer de l'hétérogénéité, 70 % de blocs de 20-40 cm et 30 % de blocs de 40-80 cm ;
- souches ou rondins peu putrescibles (Ø < 10 cm)... de préférence en châtaignier, en chêne, en mélèze, en robinier...

Ces matériaux doivent être plus ou moins mélangés et disposés en long, d'un bout à l'autre de l'ouvrage.

L'objectif de ces constructions est d'offrir un maximum d'abris à toutes les espèces de petite taille (micromammifères*, insectes, reptiles...). Elles permettent à la fois de constituer des milieux de vie et créent des espaces de sécurité lors de la traversée des ouvrages. À terme, ce sont des microcorridors qui améliorent l'attractivité du passage et forment un réseau structurant plus ou moins continu, qui franchit le passage et se prolonge jusqu'aux continuités interrompues par l'infrastructure.



Schéma de principe d'un andain. Source : Cerema

Ces andains offrent des situations contrastées en termes de température et d'humidité, propices à un éventail d'espèces.

Sur les passages supérieurs, ils sont installés le long du parapet d'occultation ou le long des boisements. Pour favoriser l'attractivité des reptiles, il vaut mieux les positionner du côté où l'ensoleillement est maximal. Afin d'éviter que l'andain ne constitue une barrière longitudinale pour la faune, il est parfois préférable de réaliser une structure discontinue (cf. photo ①) pour éviter de cloisonner l'espace et faciliter la libre circulation sur la totalité de la largeur du passage.



① Andain discontinu sur un passage espagnol.
Source : Minuartia.

Sur les ouvrages mixtes associés à un chemin, ils peuvent également servir à délimiter les usages, en constituant un obstacle entre l'espace réservé à la faune et le chemin.

Pour éviter le vol des matériaux et les jets sur l'autoroute, il est possible de recouvrir l'andain* avec un grillage à grandes mailles (10-15 cm) et de l'ancrer solidement au sol (12). Certains gestionnaires autoroutiers préconisent également de relier les rondins en bois avec un câble en acier ancré à l'ouvrage.



12 Andain grillagé pour éviter le vol et les jets sur l'autoroute. Source : Vinci Autoroutes.



Dans la plupart des cas, tout ou partie des matériaux peut être récupéré sur ou aux abords du chantier. Les engins sont généralement sur place, ce qui limite le coût de réalisation d'un andain. En l'absence de ces facilités, il faut compter entre 80 et 150 € HT/m².



18 ans d'évolution d'un andain* de bois et de roches, A28 Pr77,5 Vinci Autoroutes/Réseau ASF – OGE V. Vignon

Ce passage spécifique de 12 m de large a été équipé d'un andain de bois et de roches en 2000. Sur la photo de droite vue d'avion, les coulées de la grande faune qui emprunte ce passage (sangliers, chevreuils, cerfs) se voient distinctement de part et d'autre de l'andain.

Vue de détail de l'andain 5 ans après sa réalisation : une haie se développe, notamment grâce aux graines apportées par les oiseaux qui se sont posés sur la structure. La lande à callune* reprend sur les bordures. L'andain se « naturalise » progressivement. La structure est en particulier favorable aux carabes*, aux reptiles, aux micromammifères*.

Vue de détail de l'andain 18 ans après sa réalisation : les écrans ont été repeints en marron.

La haie, les jeunes arbres et la strate buissonnante se sont développés. Cette dernière a été gérée par broyage.

De l'andain, il ne reste que la structure rocheuse discontinue. Le bois a disparu sauf les grosses pièces de plus de 50 cm de diamètre (la grosse souche pointée par les flèches jaunes est la seule pièce de bois qui a peu changé).

La haie qui a remplacé le bois joue son rôle fonctionnel pour la faune sur l'ouvrage. La gestion de la végétation permet d'entretenir une mosaïque d'habitats naturels sur l'ouvrage et le long de l'andain.



■ Mur et murets

De simples murets en pierres sèches de 70 à 80 cm de hauteur (13), voire des murs en gabion* (14) peuvent être envisagés. Ils sont notamment appréciés des reptiles, car ils sont favorables à leur thermorégulation. Pour qu'ils soient attractifs, il faut entre autres veiller à l'orientation du dispositif en fonction de l'exposition au soleil et



13 Muret en pierres sèches. Autoroute A8.
Source : Jean Carsignol.



14 Mur en gabion sur un passage allemand.
Source : Christine Henn, Mobil Hessen.

des autres équipements susceptibles de limiter l'ensoleillement (parapets, végétation). Il est également possible de construire ou de disposer les structures spécifiquement pour multiplier les microhabitats, de façon à créer des milieux favorables en fonction de l'heure de la journée (ex. : incurver les murets).

Les murets peuvent également constituer des structures de soutènement pour :

- des lieux de pontes ou des *hibernaculum**, voire les deux, à l'arrière de ces murs (cf. « Aménagement des abords/*hibernaculum* » (29 30 31) et fiche n° 20) ;
- des retenues de terre, afin de disposer localement d'une hauteur de substrat suffisante pour effectuer des plantations tout en limitant l'emprise. Ce sont des aménagements particulièrement intéressants sur les ouvrages :
 - de dimensions restreintes, car ces structures permettent, par exemple, de créer des corridors de végétation latéraux tout en maintenant une zone herbacée au centre de l'ouvrage, sans trop le surcharger (évite d'avoir un recouvrement épais sur toute la largeur du tablier),
 - en contexte de sécheresse estivale du climat méditerranéen, où la réserve hydrique est directement liée à la hauteur de terre végétale.



En Allemagne un écopont* a bénéficié de la mise en œuvre d'un mur en gabion sur l'ensemble de la traversée du passage. Les suivis de répartition effectués sur les lézards des souches sur et à proximité de l'ouvrage (résultats cumulatifs, 2011) ont montré que :

- les adultes et les juvéniles ont majoritairement été observés au sud du mur en gabion* (côté ensoleillé) ;
- à l'inverse, et contrairement aux dépendances vertes, sur le reste de la partie centrale de l'ouvrage où les habitats sont peu structurés en termes de végétation et qui sont exposés à moins de lumière, les observations ont été très peu nombreuses.

L'orientation des milieux et les caractéristiques qui en découlent peuvent ainsi jouer un rôle dans le fonctionnement et l'utilisation des habitats reconstitués sur l'ouvrage.



Localisation des points d'observation des lézards sur et aux abords de l'ouvrage.

■ Amas de pierres ou de branches

À l'image des andains*, de simples amas de pierres, de branches (15 page suivante), voire des troncs permettent de varier la disponibilité en habitats. Ces amas de

branches peuvent également favoriser l'installation et le développement spontané des buissons.

Il faut d'ailleurs en tenir compte lors de l'aménagement et planifier des mesures de gestion et d'entretien adaptées, afin de pérenniser ces aménagements.



15 Aménagement d'un amas de branches en phase travaux et son évolution deux ans après. RD64 (70).
Source : Jean-Paul Chatel. DIR Est.

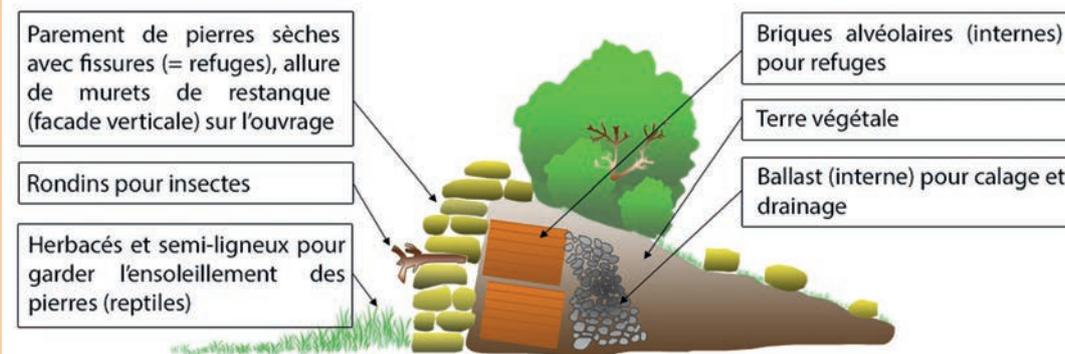


Éco-restanque* pour écopont* conçu par Cabinet X-Aequo pour Vinci Autoroutes combinant :

- des boisseaux de brique alvéolée en terre cuite, allégeant le poids de la structure et ménageant une porosité pour la faune ;
- des amas ponctuels de rondins putrescibles dans le corps du muret et qui dépassent en façade, pour diversifier les habitats ;
- des façades en blocs rocheux non liaisonnés pour créer des interstices pour la faune, l'intégrer paysagèrement à la structure et la stabiliser ;
- des souches massives ponctuelles en tête de module pour diversifier les habitats ;
- des finitions et calages manuels par des pierres ;
- des dalles rocheuses de couverture ;
- un lit de pierres concassées pour le drainage et le calage en arrière des boisseaux, afin d'assurer la stabilité du bâti et un gradient de porosité pour la faune en fond de muret ;
- de la terre végétale (environ 80 cm de haut) derrière le ballast avec couche superficielle amendée en matière organique (compost) pour la plantation des baliveaux* ;
- du talutage en pente douce en début et en fin de modules pour assurer les cheminements entre la zone axiale de l'écopont*, le pied de restanque* et la butte boisée en arrière ;
- une variété d'ambiances de sols et d'expositions disponibles (sols profonds/superficiels, zones en terre/rocheuses, pentes douces/parois raides, adret/ubac, substrat plus ou moins drainant en fonction de la présence interne de ballast, etc.) ;
- une disposition discontinue, chaque module mesurant 5 à 7 m de long et permettant des cheminements transversaux entre le centre de l'ouvrage et le bord des écrans.



Mise en œuvre des écorestanques « en série ». Autoroutes A8 et A57.
Source : C. Buton, Cabinet X-Aequo.



Dispositifs assurant la tranquillité du franchissement

■ Parapet d'occultation

Chaque côté des ouvrages doit être équipé d'un parapet d'occultation opaque (16), afin de réduire les nuisances liées au bruit, au déplacement des véhicules sur l'infrastructure franchie et à l'éclairage des phares la nuit.

Le dispositif doit être installé sur la totalité de la traversée de l'ouvrage et de chaque côté, afin de constituer un couloir de passage et être poursuivi aux abords du passage (cf. aménagement des abords).



16 Écran du passage à faune de La Buisse (A48 – Réseau APRR), réalisé en robinier faux-acacia non traité chimiquement. Le bois a été prélevé localement sur des dépendances autoroutières et transformé à proximité (sciage et fabrication des panneaux). Afin de déterminer la classe de résistance de ce bois pour dimensionner les panneaux, une sélection de planches a fait l'objet de tests de flexion. Source : APRR.



Caractéristiques des parapets d'occultation

- **Dimension** : hauteur 2 à 2,5 m.
- **Matériaux** : les panneaux peuvent être de nature très variée, mais les structures en lattes ou panneaux de bois sont préconisées, pour une meilleure insertion. La section des éléments en bois doit être suffisamment importante (> 22 mm pour les bois exotiques et > 30-35 mm pour les essences locales) pour éviter les déformations (dimension minimale hors calcul au vent). Pour réduire l'entretien, les éléments en bois disposent d'une durabilité naturelle ou conférée par un traitement correspondant à :
 - la classe d'emploi 3 (selon la norme NF EN 335 de mai 2013) si absence certaine d'humidification prolongée et distance suffisante par rapport au sol (ex : longrine béton) ;
 - ou la classe 4 en raison des possibilités d'accumulation d'humidité (contact avec le sol, végétation...).

Les essences locales (naturellement de classe 3) comme le chêne, le mélèze, le châtaignier ou encore le robinier doivent être privilégiées (mais nécessitent d'être hors sol).

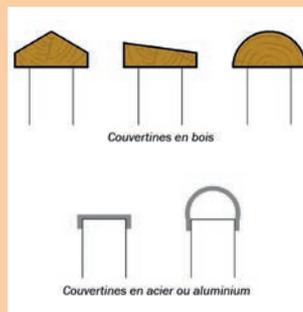
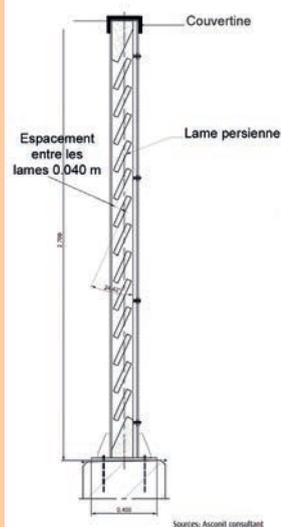
- **Finitions** : le bois est en priorité laissé brut, ce qui permet un vieillissement naturel des parements et ne nécessite pas d'entretien. Une finition lazurée ou antigraffiti est possible mais n'est pas recommandée. Les traitements des écrans qui pourraient impacter les espèces saproxyliques* sont également à éviter.

- **Pose** : la pose des lattages est verticale, si possible, pour éliminer les risques de stagnation d'eau sur les matériaux constitutifs (bois, acier, etc.) et les lattes ne sont pas ajourées. Si elles le sont (pour une moindre prise au vent), l'orientation doit permettre de maintenir le rôle d'écran visuel pour la faune.

Les panneaux doivent par ailleurs être équipés d'une couronne ou couverture (bois identique, aluminium ou galvanisé) pour éviter les risques de stagnation et de pénétration d'eau en crête de panneau.

- **Organes d'assemblages** (chevilles, boulons, pointes...) : ils doivent également répondre à des spécifications de protection contre la corrosion.

DETAIL EN COUPE D'UNE PALISSADE OCCULTANTE AVEC SYSTEME DE LAMES EN BOIS AJOURÉES



■ Dispositif anti-intrusion/séparation des usages

Afin d'éviter au maximum l'utilisation de l'ouvrage par l'homme et en particulier par les véhicules à moteur, des dispositifs peuvent être mis en œuvre aux entrées des ouvrages. Toutefois, ces dispositifs ne doivent pas constituer des obstacles* au passage de la faune et doivent être réservés aux ouvrages potentiellement les plus fréquentés par les activités humaines. Certains d'entre eux peuvent également être utilisés pour séparer les usages, éviter ou limiter le passage des véhicules.

- Blocs de pierres > 80 cm de diamètre alignés et espacés de 1 m, soit à l'entrée des ouvrages, soit pour séparer les fonctions (17).



17 Blocs en pierre positionnés le long d'un rétablissement forestier de la LGV Est européenne. Source : Cerema.

€ Le prix est de l'ordre de 30 à 50 € la tonne.

- Panneaux de signalisation et de sensibilisation.



Panneau d'interdiction de circuler à l'entrée d'un passage à faune. Source : Cerema.

€ Prix variable en fonction du modèle et de la qualité mais compter de 200 à 400 €.

- Clôtures herbagères.

- Fossés, trous, souches, murets en pierre : l'objectif de ces aménagements est de rendre difficile la traversée de l'ouvrage par les véhicules.

- Barrières en chicane (dispositif breveté ESCOTA/ Cabinet X-AEQUO) : elles ont l'avantage d'éviter le franchissement de la quasi-totalité des véhicules (18) sans constituer un réel obstacle pour la faune (19).



18 Dispositif de chicanes installé sur le passage supérieur de l'autoroute A57. Source : Jean Carsignol.



19 Ongulés franchissant le dispositif de chicanes du passage. Source : X-Aequo.

€ Le coût d'un tel dispositif est de l'ordre de 100 à 200 €/ml.

- Potelets en métal ou en bois alignés et espacés de 1 m à l'entrée des ouvrages. S'ils n'arrêtent pas les motos, ils permettent d'éviter le passage des véhicules à 4 roues.

- Barrières



Barrières en bois installées le long du chemin pour éviter aux véhicules d'accéder à l'espace réservé à la faune. Source : Cerema.

€ Le coût pour une glissière bois est estimé entre 100 et 400 € le ml.

Aménagement des passages inférieurs

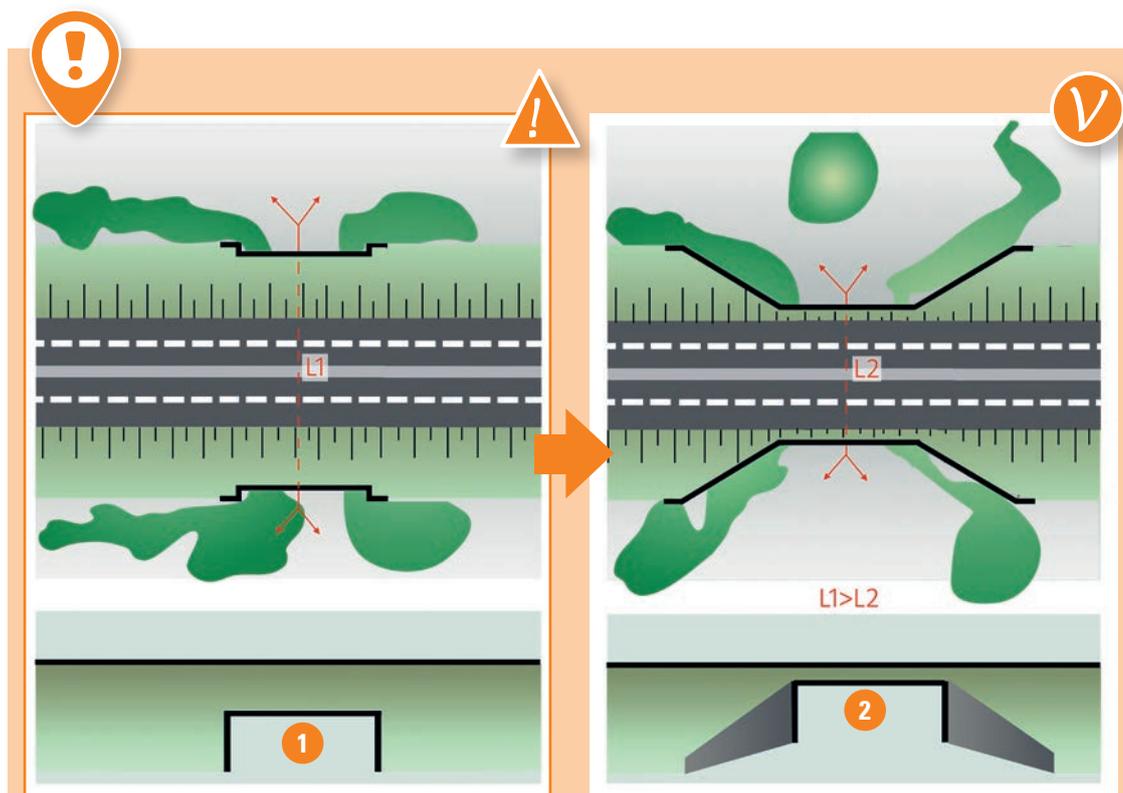
Diminution de la longueur de traversée

■ Murs de soutènement en « aile »

Ces murs ont pour objectifs de soutenir les remblais latéraux à la sortie de l'ouvrage et d'augmenter l'espace disponible pour la faune tout en réduisant la longueur de traversée (20 et 21). Ce dispositif permet ainsi de limiter l'effet couloir parfois répulsif pour certaines espèces ou individus d'espèces. L'angle d'ouverture des murs doit être supérieur à 45°.



20 Passage inférieur du bois de Vigneule équipé de murs « en aile ». LGV Est européenne. Source : Néomys.



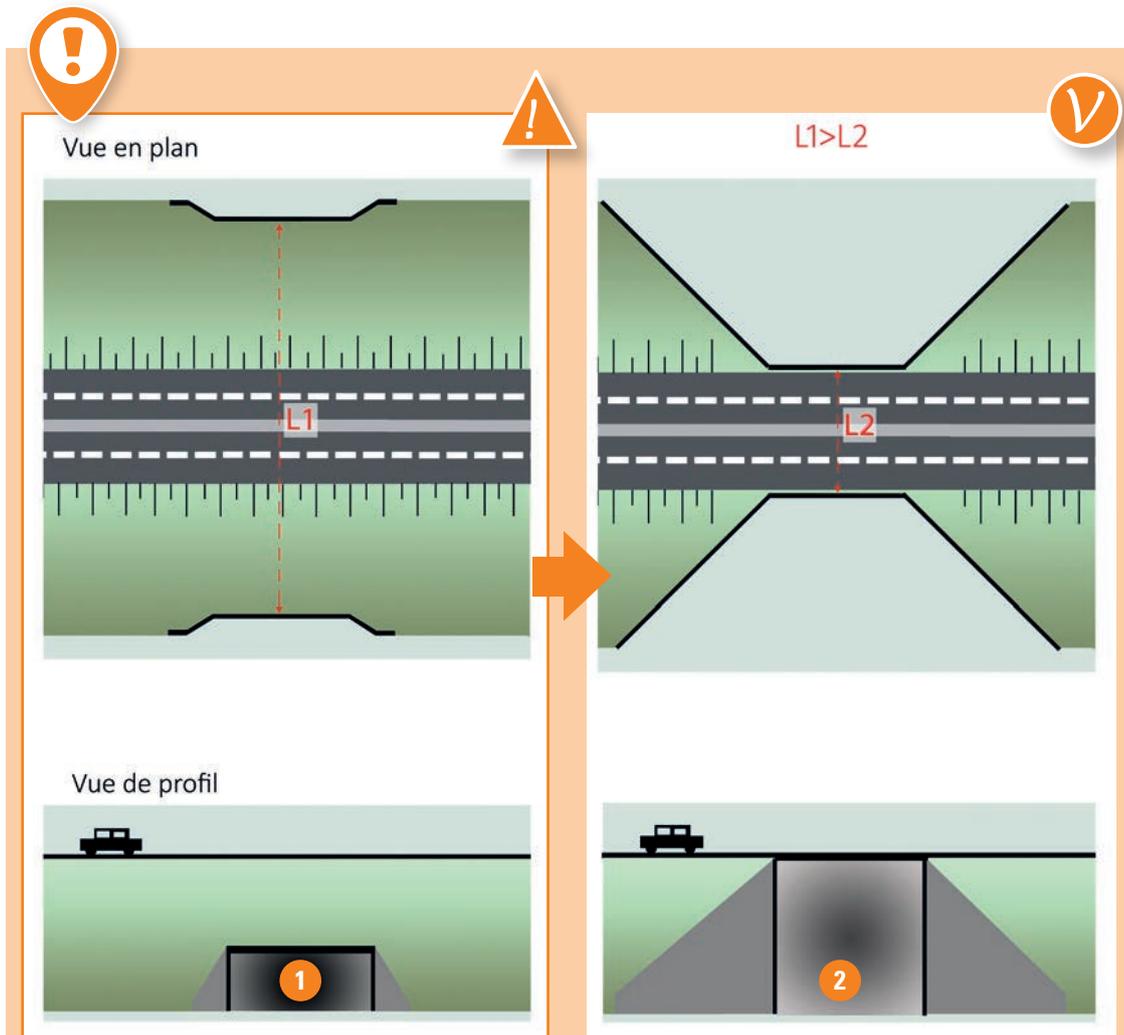
21 Représentation schématique d'un ouvrage sans (1) et avec (2) murs de soutènement en « aile ». La longueur de traversée est réduite lorsque l'ouvrage en est équipé. Source : Cerema.

■ **Ouvrage d'une hauteur équivalente à la hauteur du remblai**

Bien que globalement un peu plus coûteuse, cette solution reste à privilégier lorsque la hauteur du remblai est modérée. Cette solution a par ailleurs pour avantage d'augmenter la luminosité sous l'ouvrage et de diminuer l'effet tunnel (22 et 23).



22 Passage inférieur d'une hauteur équivalente au remblai. RN 4 (54). Source : Cerema.



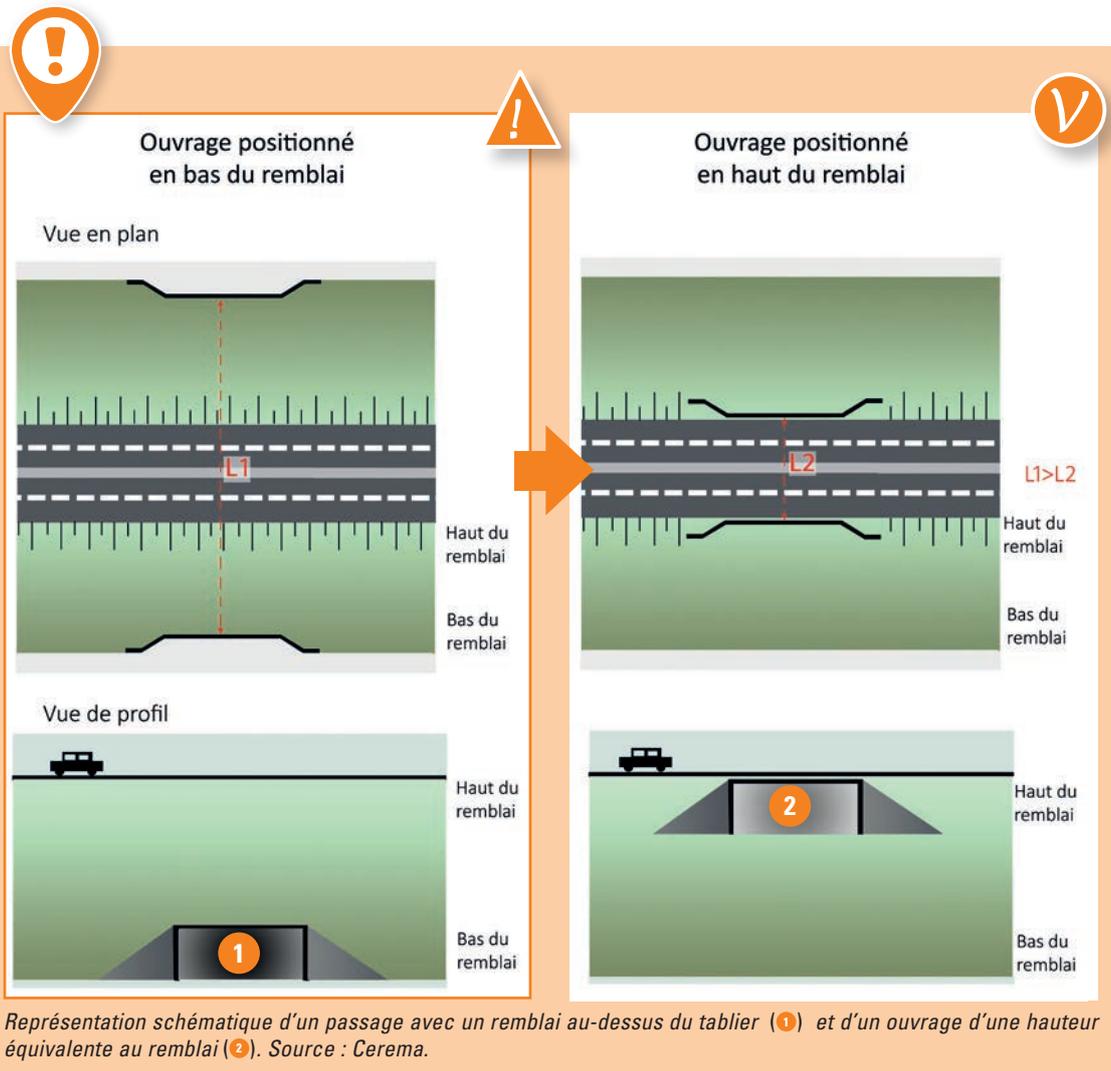
23 Représentation schématique d'un passage avec un remblai au-dessus du tablier (1) et d'un ouvrage d'une hauteur équivalente au remblai (2). Source : Cerema.

■ **Implantation de l'ouvrage au plus haut du remblai**

Lorsque l'ouvrage est mixte, la connexion du chemin de rétablissement peut toutefois s'avérer techniquement un peu plus complexe.



Passage inférieur positionné en haut du remblai. Source : Cerema.

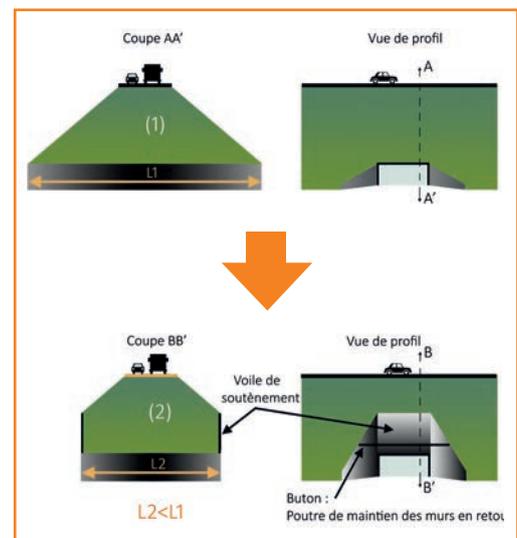


Construction d'une structure de soutènement verticale

Il s'agit de construire cette structure (24 et 25) (gabion*, mur béton...) au-dessus de la tête d'ouvrage pour retenir le remblai.



24 Ouvrage du ruisseau d'Olzey. RN 59 (54). Source : Cerema.



25 Représentation schématique d'un passage équipé d'un mur de soutènement vertical au-dessus de la tête d'ouvrage (2) et d'un passage non équipé (1). Source : Cerema.

Aménagement végétal des passages inférieurs

Pour les ouvrages inférieurs, les modalités d'aménagement sont plus limitées et varient en fonction des caractéristiques du passage :

- pour les ouvrages les plus modestes où la végétalisation est difficile, la priorité doit être donnée à la taille de l'ouvrage pour que sa hauteur soit la plus grande possible, afin de favoriser sa végétalisation et qu'un maximum de plantes herbacées puisse pousser jusqu'au centre de l'ouvrage. Pour ces ouvrages, il n'est pas préconisé de faire des plantations à l'intérieur du passage, mais de laisser la végétation s'installer spontanément. Des plantations peuvent toutefois être envisagées aux entrées pour connecter l'ouvrage aux habitats séparés, mais il faut veiller à ne pas obstruer l'entrée du passage, pour ne pas limiter la luminosité à l'intérieur de ce dernier. Des structures complémentaires de type andains (cf. chapitre suivant) peuvent aussi compléter l'aménagement très utilement ;
- pour les ouvrages inférieurs de très grande taille (appelés communément viaducs), l'objectif ici doit être la conservation des habitats en place et en particulier des cordons de végétation. Dans l'éventualité où les travaux nécessitent la destruction des habitats, les aménagements doivent surtout viser à la reconstitution des milieux dégradés ou à l'amélioration des connectivités. Dans ce dernier cas, en fonction du contexte, les préconisations d'aménagement proposées pour les ouvrages supérieurs peuvent être reprises.



Colonisation par la végétation des passages inférieurs. Cerema, 2018

Une étude réalisée par le Cerema sur la colonisation par la végétation des passages sous les infrastructures (10 ouvrages de sections allant de 16 à 120 m²) montre que pour une longueur de 20 à 30 m, une section (largeur X hauteur) de 60 m² permet un recouvrement de la végétation sur plus de 25 % de la totalité de l'ouvrage.



Ouvrage inférieur.
RN59 (Région Grand Est).
Source : Cerema.

Aménagement d'habitats complémentaires dans l'ouvrage

■ Andains* ou amas de branches

À l'image des ouvrages supérieurs (cf. « Aménagement des ouvrages supérieurs – Aménagement d'habitats complémentaires »), des andains ou des amas de branches peuvent être mis en œuvre dans les passages inférieurs. En général, sur les plus petits ouvrages, ils sont placés le long de la culée ou des piliers de l'ouvrage, mais sur les ouvrages de grande taille, ils peuvent être moins excentrés.



Passage inférieur équipé d'un andain. RN67 (52).
Source : Cerema.

Dispositif assurant la tranquillité pour la faune

■ Dispositif anti-intrusion/séparation des usages

Dans les ouvrages inférieurs, la séparation des ouvrages peut être effectuée par des dispositifs semblables aux ouvrages supérieurs, mais il est également possible dans cette catégorie d'ouvrages, de se servir de la présence de cours d'eau pour effectuer cette séparation.



Passage inférieur dont les usages sont séparés par des blocs et le passage d'un cours d'eau (Autoroute A34).
Source : Cerema.

Aménagement des abords

Sécurisation d'une surface suffisante aux entrées du passage

L'objectif des passages à faune est globalement de rétablir une continuité écologique en un point donné pour un maximum de cortèges faunistiques. Il est ainsi nécessaire d'offrir en ce point les conditions optimales au passage de ces espèces, c'est-à-dire de leur offrir des conditions qui soient proches de leur habitat de vie ou tout au moins favorables à leur déplacement. Un soin particulier doit ainsi être apporté aux aménagements de l'ouvrage, de ses abords directs et des conditions de raccordement aux structures paysagères voisines.

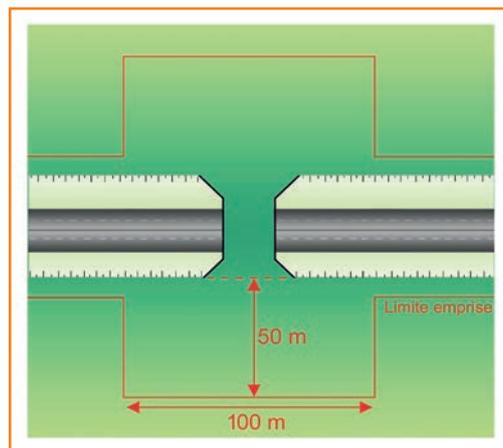
Pour réaliser un agencement cohérent, il est en premier lieu recommandé de disposer de chaque côté d'une surface d'aménagement suffisante aux abords du passage (de l'ordre de 2 500 m² pour les ouvrages ordinaires, à 5 000 m² ⁽²⁶⁾, voire jusqu'à 1 ha pour les ouvrages exceptionnels). C'est toutefois au maître d'ouvrage de définir précisément la taille de cet espace pour que l'ouvrage soit le plus efficace possible en fonction de la catégorie de passage, de la topographie du site, du milieu environnant et notamment de la connectivité avec les habitats... Cette surface d'emprise doit, si possible, être intégrée au plus tôt dans la démarche, c'est-à-dire dès les phases de conception du projet et en particulier lors de la définition des emprises.

Si cette surface n'est pas intégrée aux emprises elles-mêmes, le gestionnaire est toutefois invité à en assurer la maîtrise (acquisition ou gestion). Afin de préserver cette surface dans le temps, il est par exemple conseillé de la classer en zone N non constructible/aménageable lors de la mise en compatibilité du document d'urbanisme. Cette surface peut également être intégrée dans le cadre de la définition des mesures compensatoires ⁽²⁷⁾ page suivante).

Il est également possible de mettre en place une obligation réelle environnementale (ORE) pour pérenniser la vocation écologique des abords du passage. Ce dispositif créé par la Loi pour la reconquête de la biodiversité*, de la nature et des paysages constitue un nouvel outil juridique, permettant aux propriétaires fonciers de faire naître sur leur terrain des obligations de protection de l'environnement qui perdurent pendant toute la durée prévue au contrat (jusqu'à 99 ans), indépendamment des éventuels changements de propriétaire du bien immobilier. La pérennité des mesures mises en œuvre est ainsi assurée.

L'aménagement de l'ouvrage et de ses abords dépendra de la taille du passage et notamment de l'espace disponible pour la faune, de la diversité des habitats traversés qu'il faudra chercher à rétablir et du type d'ouvrage (inférieur ou supérieur).

À noter que le coût de ces dispositions d'aménagement des milieux est minime comparé au coût de construction de l'ouvrage, alors qu'il conditionne très fortement l'efficacité de l'investissement.



⁽²⁶⁾ Exemple schématique d'une surface d'aménagement de 5 000 m² à réserver aux abords d'un passage toute faune exceptionnel. Source : Cerema.



Même si le coût moyen du terrain agricole varie fortement selon les régions (de 2 000 à plus de 10 000 €/ha pour des prairies ou des terres labourables), le coût d'acquisition d'une surface de 2 500 m² à chaque entrée d'un ouvrage reste minime au regard d'un projet d'infrastructure. Ainsi, même avec un prix de 10 000 €/ha, le coût d'acquisition de 2 500 m² à chaque entrée serait de l'ordre de 5 000 € pour un ouvrage.



27 Mesure compensatoire aux abords du passage faune. Prolongement de l'autoroute A16 sur le réseau SANEF. Source : Geoportail.

Aménagement végétal et diversification des habitats

Que ce soit pour les ouvrages supérieurs ou inférieurs, il est en premier lieu préconisé d'effectuer des plantations le long des clôtures jusqu'aux entrées de l'ouvrage. L'objectif est de constituer un cordon dense de végétation qui permette à la fois d'améliorer la tranquillité (masquer la circulation depuis les ouvrages supérieurs), de rendre plus naturels les abords du passage et de favoriser le guidage latéral de la faune en direction de celui-ci. Un mélange d'essences ligneuses et arbustives permet d'obtenir le boisement dense recherché.

La longueur des sections à aménager dépend du contexte de l'ouvrage mais un minimum de 30 m de part et d'autre de chaque entrée est recommandé.

Il faut veiller à ce que l'implantation de ce cordon ne gêne pas l'entretien des clôtures.

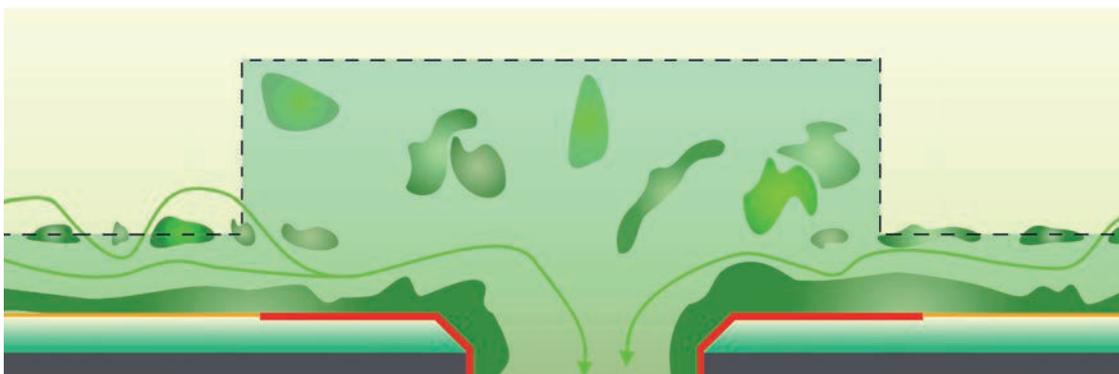
Sur les ouvrages inférieurs, la végétation ne doit par ailleurs ni obstruer l'entrée du passage ni diminuer la luminosité à l'intérieur de l'ouvrage.

À ce premier cordon de végétation, lorsque les emprises sont suffisamment importantes, il est possible d'ajouter de chaque côté des entrées un deuxième cordon de végétation plus lâche le long des emprises, afin de constituer un corridor guide jusqu'au passage (28).

Le reste de l'aménagement visera essentiellement, lorsque c'est encore possible, à reconnecter les habitats coupés par l'infrastructure. Il s'agira ainsi essentiellement, pour les ouvrages supérieurs, de prolonger les habitats reconstitués sur le tablier, jusqu'aux habitats encore en place.

Dans tous les cas, pour les ouvrages supérieurs ou inférieurs, il faudra chercher à constituer une zone refuge attractive pour la faune, en diversifiant les habitats, en lien avec les espèces potentiellement présentes.

Si des murets, des tas de pierres ou de branchages peuvent être aménagés dans ces emprises (cf. « Aménagement des ouvrages supérieurs »), ce sont également des lieux à privilégier pour réaliser des aménagements de plus grande surface et/ou nécessitant de creuser plus profondément le sol (*hibernaculum**, mare...).



28 Schéma de principe d'aménagement d'un double cordon de végétation le long de l'infrastructure jusqu'à l'entrée du passage faune. Source : Cerema.

■ Hibernaculum

L'*hibernaculum* est un abri artificiel permettant aux reptiles de passer l'hiver. Il peut également constituer un lieu de ponte, de chasse ou une zone refuge le reste de l'année. Ces structures peuvent être enterrées, semi-enterrées, ou former un tas (29, 30 et 31).

Il s'agit dans chaque cas d'un empilement de matériaux inertes et grossiers, afin que les interstices et les cavités servent de gîte à la faune. Ces matériaux sont constitués de gravats, blocs, branchages, briques alvéolées...

Ils sont ensuite recouverts de végétaux ou d'un géotextile et de terre. Le cœur de la structure doit toutefois rester accessible par des interstices non colmatés.

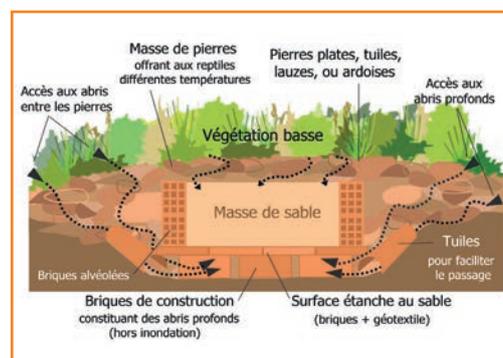
Enfin, afin de rendre le site plus favorable aux reptiles, un ourlet herbeux devra être conservé ou aménagé au plus près des *hibernaculum*s. (cf. également fiche n° 20)



Le coût d'un *hibernaculum* est de l'ordre de 4 000 à 6 000 €.



29 Site de ponte / hibernaculum artificiel en cours d'aménagement. Source : X. Bonnet.



30 Exemple d'un abri multifonctionnel pour reptiles. Source : dessin de C. Houel, d'après D. Guerineau.



31 Hibernaculum. Source : Cerema.

■ Mares

La présence de mares aux abords des entrées des passages permet d'offrir un habitat de vie pour certaines espèces aquatiques (amphibiens, odonates, mollusques...). Elles sont également fréquentées par de nombreuses autres espèces qui viennent régulièrement s'y abreuver (ex. : mammifères), chasser...

En les plaçant à l'entrée des ouvrages (32 page suivante), elles ont aussi pour avantage de faciliter les échanges et les déplacements entre les milieux situés de part et d'autre de l'infrastructure.

La taille de la mare est fonction de l'espace disponible et de la configuration du site d'implantation. Si elle est réalisée à l'extérieur du passage, une taille

de 5 à 10 m² avec une profondeur de 1 m et des berges en pente douce permet de constituer un milieu attractif et suffisamment pérenne en période estivale.

Elle nécessite toutefois d'être suffisamment alimentée en eau, soit par des remontées de nappe, soit en bénéficiant des écoulements de surface. Dans ce second cas, certains aménagements peuvent favoriser son alimentation et son maintien en eau :

- faire en sorte qu'elle soit l'exutoire de fossés latéraux (eaux propres), point bas du terrain naturel ou modelé, sortie de drains (ex. : drain d'un tablier d'un passage supérieur) ;
- étanchéfier le fond, par la mise en œuvre d'un complexe d'étanchéité constitué d'une première couche de géotextile antipoinçonnement (masse surfacique 300 g/m²) surmontée d'une géomembrane en polypropylène d'épaisseur 10/10^e de mm et enfin une seconde couche de géotextile (la même que la première).

Cette couche d'étanchéité peut également être étendue, afin d'améliorer l'alimentation en eau en augmentant la surface collectée.

L'utilisation d'argile peut aussi être envisagée, mais elle n'est efficace à long terme que sur des terrains déjà un minimum argileux. Sur des sols plus perméables (sables, calcaires), une épaisse couche d'argile (50-70 cm) pourra toutefois être envisagée sans pour autant garantir à long terme l'étanchéité.

Le fond de la mare est recouvert d'une qualité et quantité de matériaux en fonction des espèces souhaitées (le plus souvent 10-20 cm de terre végétale).

Des mares ou petites dépressions compactées humides peuvent également être réalisées sur le tablier des ouvrages supérieurs, mais leur profondeur est alors limitée et constitue dans la plupart des cas, des milieux temporaires.



📍 Passage toute faune équipé d'une mare à chaque entrée du passage. Autoroute A2 au nord d'Eindhoven.
Source : Luchtfoto Irvin Van Hemert – Pays-Bas.

Assurer d'une tranquillité d'accès aux abords

■ Prolongement du parapet d'occultation

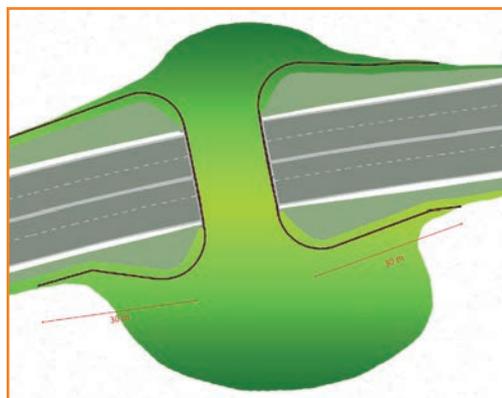
Afin d'assurer un maximum de tranquillité aux abords du passage, le parapet doit être poursuivi sur près de 30 m de chaque côté de chaque entrée (33). La longueur précise est toutefois à définir en fonction du contexte d'implantation. Attention également à raccorder soigneusement les parapets aux clôtures.

■ Création de merlons aux entrées du passage

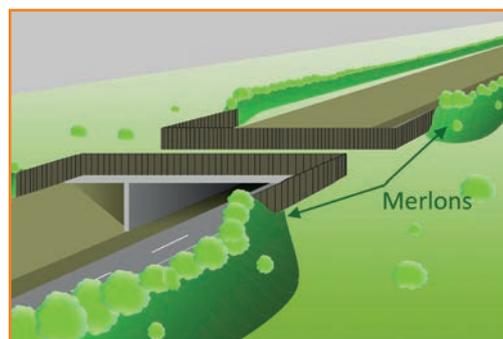
L'infrastructure et le flux de véhicules peuvent parfois être visibles à l'approche du passage (notamment lorsque l'ouvrage est situé en contrebas du terrain naturel) et rendre le passage moins attractif pour la faune. Afin de limiter les perturbations et de guider la faune vers l'entrée du passage, le modelage des espaces jouxtant l'ouvrage (34) et notamment la création de merlons peuvent permettre de masquer les éléments perturbants pour la faune (équipements, zone urbaine...) voire simplement l'infrastructure. Cette disposition nécessite cependant de maîtriser les emprises nécessaires. Dans ce dernier cas, on veillera à implanter la clôture en haut du merlon.

■ Limitation de la chasse

Pour assurer la tranquillité du passage et que les animaux n'associent pas la structure à un danger, la chasse doit être évitée dans un rayon de 200 à 500 m en fonction de la catégorie des ouvrages (200 m pour les ouvrages ordinaires et jusqu'à 500 m pour les ouvrages de plus de 40 m. Ces dispositions doivent être discutées avec les acteurs locaux de la chasse et gestionnaires des milieux (ex. : ONF dans les forêts domaniales).



33 Schéma de principe de l'implantation d'un parapet d'occultation aux entrées d'un passage supérieur à faune. Source : Cerema.



34 Dessin de principe de l'aménagement d'un merlon aux abords d'un passage à faune. Source : Cerema.

■ Éloignement des aires de repos (bruit, éclairage, mouvements)

Les aires de repos sont à proscrire à moins de 300 m de l'ouvrage à faune.

■ Absence de lumière

L'absence de lumière artificielle dans ou sur un ouvrage est bien évidemment un prérequis, mais plus globalement, la lumière est à proscrire à moins de 100 m de l'ouvrage.

Limitation des obstacles à l'entrée des ouvrages

La continuité des déplacements doit être assurée au-delà de l'ouvrage et ne doit pas être gênée par des obstacles*, notamment en lien avec l'activité humaine.

■ Fossé en eau à la sortie du passage

Si c'est le cas, le fossé doit être busé sur la totalité de la largeur de l'ouvrage ou au minimum rempli d'un lit de cailloux drainants, s'il s'agit de très faibles écoulements.

■ Dépôt permanent de matériaux

Si c'est le cas, les matériaux devront être utilisés pour améliorer l'accès en modelant l'entrée du passage pour garantir son accessibilité et assurer sa tranquillité.

■ Dessertes inutiles aux abords du passage

Les dérangements liés à la circulation doivent être limités au maximum. Les éventuels chemins qui n'ont plus de raison d'être seront supprimés. Lorsqu'il s'agit d'un chemin forestier voire dans certains cas agricoles, des barrières seront installées sur les chemins bien avant l'ouvrage pour éviter que les véhicules à moteur n'accèdent au passage sans raisons justifiées (cf. aussi fiche n° 6 pour l'implantation du chemin suivant des conditions favorables).

■ Bassin de traitement et ses clôtures associées aux abords du passage

Les cours d'eau constituent à la fois des zones de déplacement de la faune et des exutoires pour les eaux de traitement des chaussées. Les bassins de traitement sont ainsi logiquement implantés au plus proche du cours d'eau récepteur et souvent en sortie des ouvrages mixtes faune et hydrauliques. Les dispositifs de traitement et les clôtures associées peuvent alors perturber l'accès à l'ouvrage pour la faune.

Pour limiter ces perturbations, il est recommandé d'éloigner le point bas du profil en long de la route le plus loin possible du passage, de sorte que le bassin de traitement soit écarté de l'entrée de ce passage. L'objectif est de positionner la clôture (et pas le bassin) à plus de 10 m de l'entrée du passage.

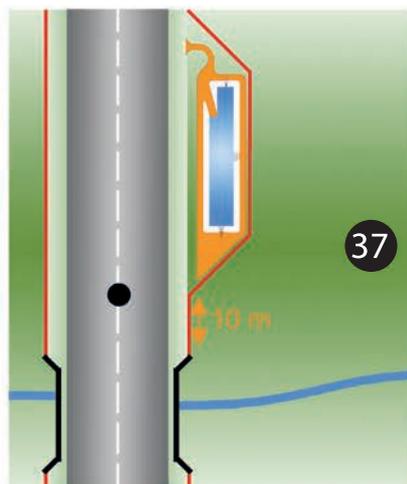
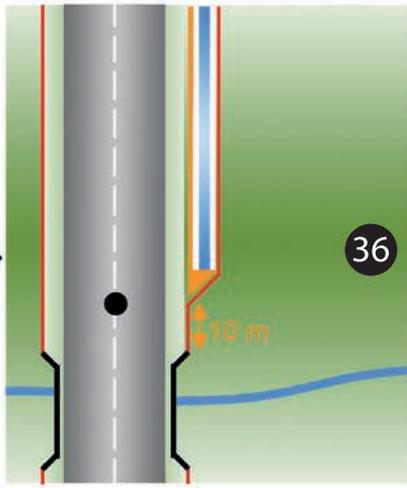
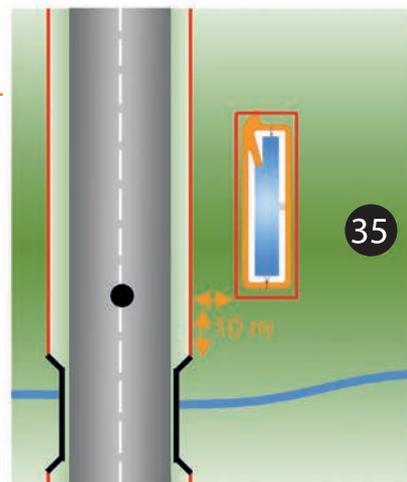
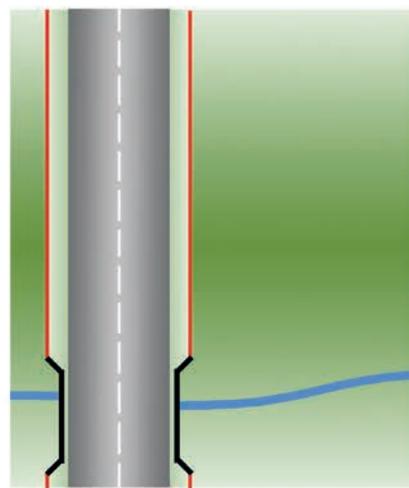
Les clôtures doivent également être implantées de façon à limiter l'effet barrière pour la faune longeant les emprises. Il s'agit :

- de maintenir un couloir de déplacement de 10 m entre les clôtures du bassin et de l'infrastructure (35 page suivante) ;
- de préférer un fossé de traitement à un bassin (36 page suivante) ;
- d'implanter les clôtures avec des angles doux pour limiter l'effet d'obstacle* (37 page suivante).

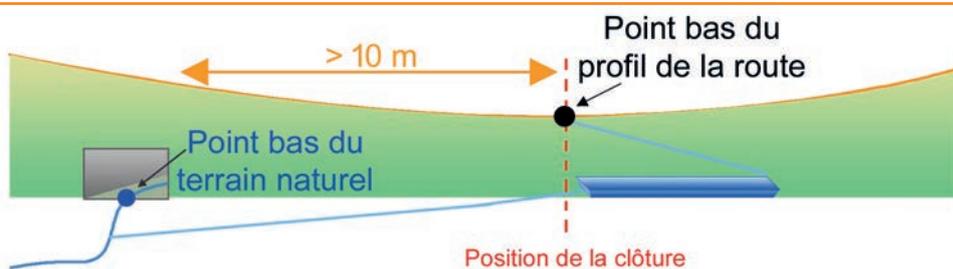


Clôture dont l'implantation fait obstacle au déplacement de la faune. Source : Cerema.

Schéma de principe du positionnement du point bas de l'autoroute au droit d'un bassin de traitement pour éviter que ce dernier ne soit trop proche de la sortie du passage à faune.
Source : Cerema.



-  Point bas du profil en long de l'infrastructure
-  Clôture
-  Bassin de traitement
-  Fossé de traitement



Au-delà des abords

Renforcement des réseaux écologiques

L'efficacité d'un passage est conditionnée par la qualité des milieux dans lesquels il est implanté et plus globalement par la qualité de la continuité écologique pour laquelle il est censé limiter la fragmentation. Pour améliorer la fonctionnalité de la continuité écologique, favoriser l'utilisation du passage et garantir la pérennité

de son usage sur le long terme, il est donc nécessaire que la qualité des éléments structurant la continuité soit conservée voire améliorée. Des dispositions doivent ainsi être prises pour que les passages restent connectés à la continuité et plus globalement au paysage. Dans le cadre d'un projet, des mesures compensatoires et/ou d'aménagement peuvent être prises en ce sens pour garantir de façon durable un réseau d'habitats suffisant au sein de la continuité (89).



89 Exemple schématique d'amélioration de la continuité écologique par un positionnement adapté des surfaces de compensation. Sources : Cerema, Google Earth.



Comment aménager les passages toute faune ?

Aménagement des passages supérieurs

- Limiter la longueur de traversée : construire des culées en mur de front.
- Réaliser un aménagement végétal du tablier en cherchant à reconnecter les structures d'habitats fragmentées.
- Multiplier les habitats favorables sur le tablier (murets, andains*...).
- Assurer la quiétude :
 - en masquant l'infrastructure depuis le tablier sur les ouvrages supérieurs (parapet),
 - en limitant les perturbations (séparation des usages, dispositif anti-intrusion, panneaux d'information...).

Aménagement des passages inférieurs

- Limiter la longueur de traversée :
 - prévoir des murs de soutènement « en aile » (> 45°) en sortie d'ouvrage et/ou la construction d'une structure de soutènement verticale (gabion*, mur béton...) au-dessus de la tête d'ouvrage pour retenir le remblai,
 - préférer la réalisation d'un ouvrage d'une hauteur équivalente à la hauteur du remblai,
 - implanter l'ouvrage au plus haut du remblai.
- Aménagement végétal seulement possible sur les plus grands ouvrages. L'objectif est surtout d'aménager les abords pour reconnecter les habitats jusqu'à l'entrée de l'ouvrage.
- Andains possibles dans l'ouvrage.

Aménagement des abords

- Réaliser un aménagement végétal pour reconnecter le passage aux habitats fragmentés.
- Assurer la quiétude ➔ en masquant l'infrastructure depuis les entrées.
- Limiter les obstacles ➔ fossés, bassins de traitement, aires de repos...

Au-delà des abords : renforcer les réseaux écologiques jusqu'aux entrées par des mesures complémentaires ou d'accompagnement



FICHE

9

Quels sont les différents types de constructions ? Pour quel coût ?

Type de matériaux⁷

Le bois⁸

Le bois peut être utilisé de manière efficace pour constituer le système porteur d'un ouvrage. Celui-ci est généralement composé de poutres massives porteuses ou d'arcs en bois lamellé-collé qui servent de support au tablier. Toutefois, le bois ne doit jamais être en contact direct avec le sol.

Pour le tablier, il est possible de faire également le choix du bois en effectuant un platelage (sorte de plancher), mais généralement l'on préfère des ouvrages avec une ossature mixte bois-béton, avec une dalle en béton qui sert d'hourdis et reçoit les aménagements. Les poutres en bois sont ainsi protégées de l'eau par la dalle béton.

Il est possible d'employer ce concept pour des franchissements d'une longueur pouvant atteindre 35 à 40 m au maximum. Au-delà, le transport des poutres devient très compliqué.

Les avantages sont : le coût modéré, la légèreté, la facilité de transport, une mise en oeuvre aisée, une démarche écoresponsable.

Le métal

Soit il s'agit d'ouvrages totalement préfabriqués (buses métalliques), mais dont la taille reste modérée, soit il s'agit de ponts dont seule la structure porteuse est composée de métal (poutres métalliques) (❶) et de béton (dalle connectée aux poutres). Ces derniers ouvrages ont notamment pour intérêt un gain de poids de charge permanente et permettent un franchissement de 25 à 60 m

par travée. En termes d'entretien, ils nécessitent cependant des remises en peinture périodiques pour éviter la corrosion. Les buses métalliques sont déconseillées en milieu humide.



❶ Ouvrage métallique. Source : Matière TP.

Le béton

Les ouvrages béton peuvent globalement être regroupés en deux types :

- soit il s'agit d'ouvrages préfabriqués constitués d'éléments construits en usine qui sont assemblés sur le chantier. Les avantages sont alors une construction rapide et un coût généralement avantageux. La portée d'un cadre préfabriqué dépasse rarement 10 mètres, mais il est possible de juxtaposer plusieurs cadres ;
- soit il s'agit d'ouvrages construits sur place et dont la portée de chaque travée peut atteindre 20, voire 25 mètres.

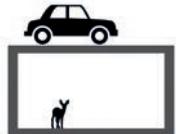
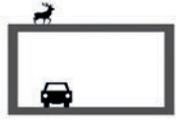
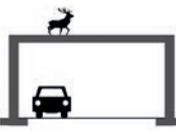
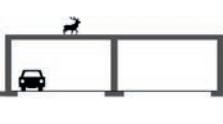
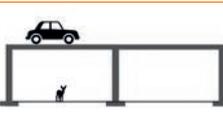
Finalement, le choix du type d'ouvrages et du type de matériaux dépend de nombreux paramètres et varie en fonction de la largeur de l'ouvrage, de la taille de l'obstacle* à franchir, de la nature du sol sur lequel l'ouvrage va s'appuyer, du type d'obstacle (cours d'eau, route...), de la présence de réseaux, du profil en long de l'infrastructure, du choix architectural...

Cf. Guide 7
du projeteur
Ouvrage d'art -
Ponts courants.
Cerema
(ex-Setra),
1999.

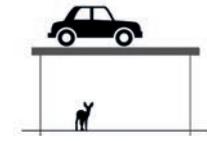
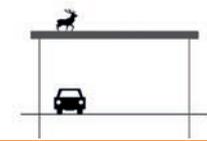
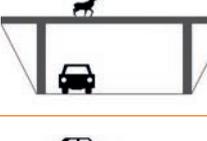
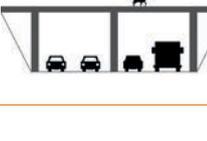
Les chemins 8
Cf. Ponts en bois -
Comment assurer
leur durabilité,
Cerema
(ex-Setra),
2006.

Type de construction

Il existe de nombreux ouvrages d'art courants qui ne seront pas détaillés, mais qui globalement peuvent être regroupés ici dans les catégories suivantes, en fonction de la taille de la brèche, c'est-à-dire de la largeur de la discontinuité à franchir (infrastructure, vallée...) :

Type	Sous-type	Longueur de la brèche (B)	Type	Photo	Coût de la construction ⁹ €/m ²
Buse métal ou béton	Simple	7 à 20 m			2 000 à 3 000 €/m ²
					
Double	2X 10 à 20 m				
					
Cadre en béton	Simple	7 à 12 m			3 000 à 4 000 €/m ²
					
Double	10 à 20 m				
					
Portique en béton	Simple	10 à 20 m			2 500 à 3 500 €/m ²
					
	Double	2X 10 à 20 m			
					

⁹ Par m² de surface de tablier pour les ouvrages avec dalles ou par m² de surface au sol pour les buses et ouvrages fermés.

Type	Sous-type	Longueur de la brèche (B)	Type	Photo	Coût de la construction ⁹ € HT
« Dalle » + palplanche		7 à 20 m		 Lié le plus souvent au passage d'un cours d'eau	2 500 à 3 500 €/m ²
					Reste peu probable car le coût de l'ouvrage conduit dans ce cas à choisir un autre type de structure
Arc		20 à 35 m			Ouvrage spécifique pour lequel nous ne disposons pas de références spécifiques et qui est à examiner au cas par cas
Ouvrage mixte acier/béton - Ouvrage de type « dalle » (dalle précontrainte, poutrelle enrobée, pont à poutres précontraintes- PRAD...)	Sans appui	10 à 20-25 m			2 000 à 3 000 €/m ²
					
	Avec appui	> 25 m			3 000 à 3 500 €/m ²
					

1.2 Les passages et aménagements pour la petite faune

Qu'entend-on par « passages » ou « aménagements petite faune » ?

Si les passages toute faune sont également des ouvrages qui sont utilisés par la petite faune, on entend par passage ou aménagement « petite faune », les ouvrages ou l'aménagement d'ouvrages assurant principalement le passage des petits animaux.

Il peut s'agir :

- soit de passages spécifiques de largeur inférieure à 7 m ;
- soit d'espaces de taille réduite réservés à la petite faune (largeur < 3 m) sur les autres catégories de passages.

Les passages petite faune sont ainsi des ouvrages à vocation exclusive ou des aménagements associés à d'autres ouvrages (agricole, forestier, piétonnier, hydraulique).

Ce sont des ouvrages ou aménagements qui permettent globalement d'assurer, sans trop de difficultés, une transparence minimale pour une grande partie des animaux, allant de la taille d'un renard jusqu'aux plus petites espèces de la microfaune (comme les insectes terrestres). S'il arrive que certains de ces ouvrages puissent être exceptionnellement utilisés par des animaux de plus grande taille (chevreuil, sanglier...), ils ne peuvent en aucun cas être considérés comme des ouvrages de rétablissement de la transparence pour ces cortèges d'animaux.

Où construire des passages petite faune ?

Une règle de base : une possibilité de passage tous les 300 m

La petite faune regroupe à la fois des espèces de taille moyenne ayant des possibilités de déplacement assez importantes, comme le renard et le blaireau, mais également des espèces de beaucoup plus petite taille dont les déplacements sont parfois beaucoup plus limités (ex. : insectes terrestres).

Bien évidemment, économiquement, il n'est malheureusement pas envisageable de rétablir tous les déplacements de l'ensemble des espèces dont les territoires sont fragmentés par une infrastructure et en particulier ceux des petites espèces communes ayant une faible capacité de déplacement.

Parallèlement, une approche de la préservation uniquement fondée sur le rétablissement des perméabilités pour les petites espèces rares et/ou protégées ou en lien uniquement avec les milieux d'intérêt biologique ne suffit pas à préserver la diversité biologique.

L'objectif est donc de conserver un minimum de transparence des infrastructures dans les habitats ordinaires et d'accentuer la connectivité des milieux naturels dans les habitats remarquables.

Aussi, par mesure de simplification et afin d'assurer la pérennité d'un minimum d'échanges, notamment pour les espèces communes, **un principe général de base de rétablissement minimal des possibilités de déplacement pour la petite faune tous les 300 m est requis.**

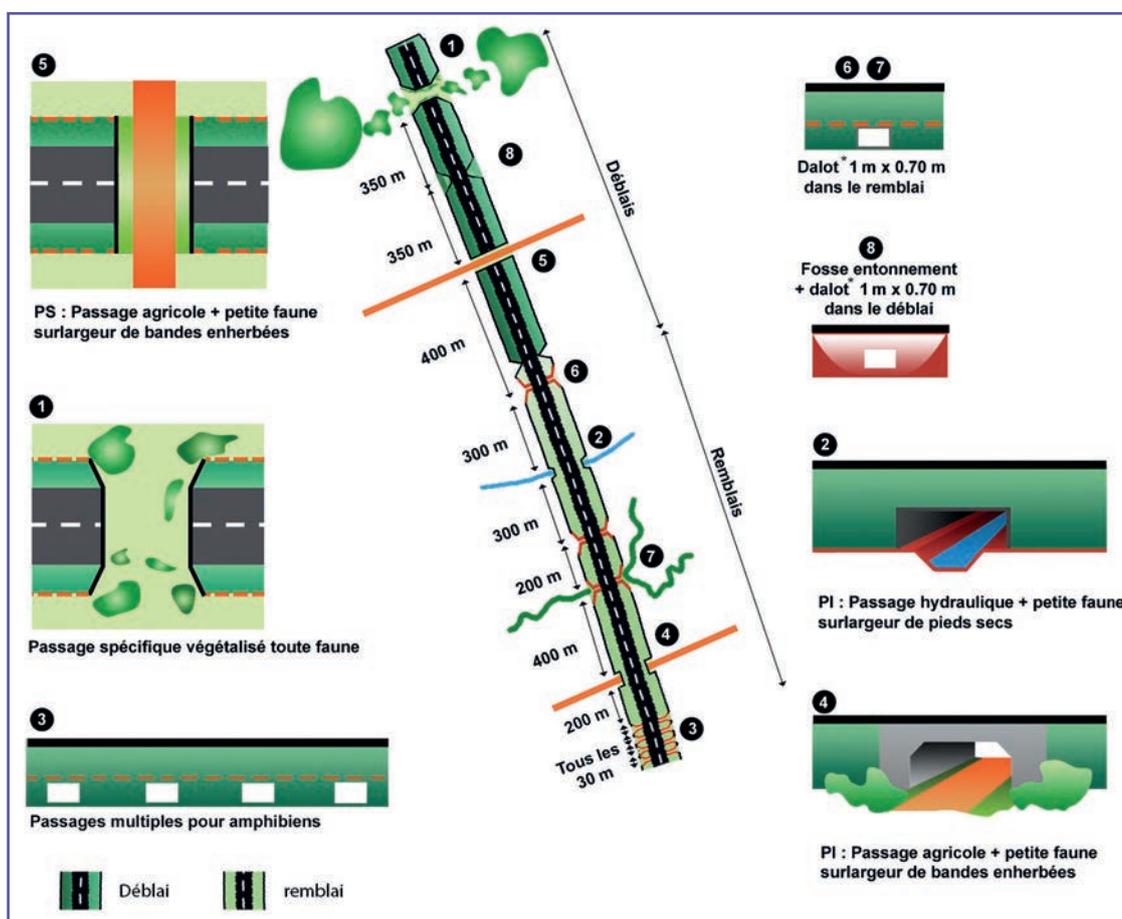
L'objectif n'est toutefois pas la construction d'un passage petite faune spécifique tous les 300 m, mais bien un principe simple, à respecter globalement au niveau du projet, qui doit s'appliquer avec un minimum de souplesse. Des ajustements locaux sont ainsi souvent nécessaires et le programme d'aménagement doit notamment tenir compte :

- des autres passages à faune déjà programmés ;
- des possibilités techniques de franchissement et notamment du profil en long de l'infrastructure ;
- de l'intérêt des espèces concernées : espèces, groupes d'espèces, types de déplacements (dispersés, saisonniers, occasionnels...), caractéristiques des échanges (dispersés, fronts larges, concentrés dans un couloir...) ;
- de la caractéristique et de la structure des habitats fragmentés ;
- de la possibilité d'assurer le franchissement de la petite faune sur des ouvrages ayant d'autres fonctions.

Une prise en compte de l'ensemble des possibilités de franchissement

La réalisation du plan d'aménagement des ouvrages, c'est-à-dire du nombre et de la localisation des passages assurant la transparence globale d'une infrastructure pour la petite faune, doit s'intégrer

dans une démarche progressive. L'objectif est de chercher à respecter la règle globale des 300 m tout en intégrant les enjeux spécifiques (espèces protégées, groupes spécifiques...).



Principe d'aménagement global et règle minimale d'une possibilité de passage tous les 300 m (d'après J. Carsignol Cerema Est).

① Ce premier stade d'analyse doit intégrer les possibilités de passages les plus favorables que sont notamment les tunnels, les viaducs, les tranchées couvertes, les ouvrages hydrauliques de décharge et plus globalement tous les passages toute faune définis au droit des grandes continuités écologiques et qui permettent le passage de l'ensemble des espèces, dont les petits animaux (①).

② Il doit ensuite intégrer l'ensemble des passages hydrauliques (allant des cours d'eau aux plus petits fossés agricoles ou forestiers), qui, sauf contraintes spécifiques, devront être franchissables par la petite faune. Ils ont également pour caractéristique de ne pas (ou peu) pouvoir être déplacés (②).

3 Une fois ces deux catégories d'ouvrages prises en compte, le plan d'aménagement doit intégrer les données liées aux habitats et aux espèces à enjeux (espèces patrimoniales et/ou protégées, groupes d'espèces particuliers). Chaque situation est alors spécifique. C'est ici, en fonction du niveau des enjeux des espèces, de l'analyse spatiale des habitats, des caractéristiques des populations et de leurs domaines vitaux, que des passages petite faune peuvent s'avérer indispensables sur des sections bien définies.

C'est par exemple le cas, lorsque l'infrastructure coupe un axe de migration* pour les amphibiens. Une densité supplémentaire d'ouvrages de rétablissement est alors requise et leurs emplacements sont peu modifiables (6).

4 Enfin, lorsque tous les ouvrages précédents sont positionnés, le plan d'aménagement doit être complété par la définition de passages petite faune complémentaires pour que la faune dispose au minimum d'un passage tous les 300 m. Dans ce cas, soit la présence d'un ouvrage de rétablissement agricole ou forestier est prévue à proximité de l'interdistance et le choix se porte sur l'aménagement de cet ouvrage (4 et 5), soit en l'absence d'autre possibilité de passage, un ouvrage complémentaire doit être prévu (6, 7 et 8).

Si la règle des 300 m est une moyenne à respecter, cette interdistance n'est pas une distance fixe et l'implantation de l'ouvrage doit également prendre en compte les enjeux locaux, tels que les structures du paysage potentiellement favorables aux déplacements (haies, boisements...) ou les milieux les plus intéressants d'un point de vue biologique (ex. : préférer une pelouse à une culture, même si le milieu peut potentiellement être modifié à plus ou moins long terme, une haie, une lisière forestière...) (7).

Si cette démarche ne pose pas a priori de grandes difficultés, lorsque le projet est en remblai important, des difficultés apparaissent dès lors que le profil en long est en déblai ou que l'infrastructure est au niveau du terrain naturel ou en léger remblai.



Traces de blaireaux, entre autres, dans un ouvrage de l'autoroute A35 (Région Grand Est). Source : Cerema.

L'aménagement est alors dépendant de la possibilité ou non de la construction de passages sous la chaussée (accès aux ouvrages depuis des fosses d'entonnement ou des têtes d'ouvrage en pente 8). La principale difficulté est liée au risque d'inondation de ces ouvrages. Les possibilités sont ainsi fonction des caractéristiques du sol, de la présence de nappes aquifères peu profondes, de la possibilité d'aménager des dispositifs drainants... L'objectif est que ces ouvrages restent secs la plus grande partie de l'année.

Si la programmation de passages supérieurs spécifiques pour la petite faune n'est pas inconcevable, elle reste rare et liée à la présence d'enjeux petite faune particuliers. Cependant, sur les sections en déblai, lorsque les enjeux sont très élevés, l'impossibilité de multiplier le nombre d'ouvrages petite faune conduit généralement à prévoir des ouvrages de plus grande taille (passage toute faune).

Comment aménager les petits ouvrages hydrauliques pour la petite faune ?

Il convient de considérer que **tous les ouvrages hydrauliques associés à un projet de grande infrastructure doivent être aménagés pour le passage de la petite faune**, sauf contrainte particulière justifiée et argumentée.

Ces ouvrages ont pour fonction première de faire transiter les écoulements de surface (temporaires ou permanents) ou les cours d'eau interceptés par l'infrastructure. C'est par leurs aménagements annexes qu'ils peuvent également assurer le passage de la petite faune terrestre. Ces aménagements annexes doivent être prévus dès les premières étapes de dimensionnement des ouvrages hydrauliques, afin qu'ils puissent répondre aux objectifs identifiés de rétablissement du passage de la petite faune et de libre

circulation piscicole, et que leur coût soit correctement évalué.

Contrairement aux passages spécifiques faune, ces ouvrages ont la particularité d'avoir une localisation bien définie qui est peu ou non modifiable. Sauf exception, ils se trouvent au niveau du terrain naturel et généralement en fond de talweg ou au niveau des points bas topographiques. Pour les petits écoulements, ils peuvent assurer le transfert des eaux d'un fossé temporaire ou d'un talweg sec d'un côté à l'autre de l'infrastructure.

En fonction du type d'écoulement (cours d'eau temporaire ou permanent, fossé) et des possibilités d'aménagement d'une banquettes*, on distingue plusieurs catégories d'ouvrages.

Les ouvrages mixtes petite faune/rétablissement d'un cours d'eau ou d'un fossé

Il s'agit des ouvrages hydrauliques nécessaires au franchissement des cours d'eau et fossés et équipés de banquettes* dont la largeur reste inférieure à 3 m (au-dessus de 3 m de chaque côté de l'ouvrage, le passage est généralement considéré plus globalement comme passage toute faune, cf. fiche n° 6).

Si les cours d'eau, de grand gabarit, constituent généralement des couloirs importants de déplacement de la faune et nécessitent, en conséquence, le plus souvent, des ouvrages avec un dimensionnement

des espaces réservés au passage de toute la faune. Seules certaines situations bien particulières (ex : contexte très spécifique lié à l'absence totale d'enjeu) peuvent conduire à l'absence de possibilité de franchissement pour la faune. Cette situation reste cependant exceptionnelle et devra être justifiée.

Les petits cours d'eau et fossés constituent également des continuités écologiques supportant bien souvent d'importants flux biologiques qu'il faut impérativement maintenir ou rétablir.

Choix du type d'ouvrage hydraulique (ouvrage ouvert ou fermé)

Deux catégories d'ouvrages sont principalement utilisées pour rétablir ces continuités :

- les « ouvrages ouverts sur appuis sans radier » (1 1) (portique, voûte maçonnée sans radier*, pont dalle) ;
- les « ouvrages fermés » (cadre, buse, voûte maçonnée avec radier*) (1 2).

Pour le rétablissement d'un cours d'eau, même si elles peuvent être utilisées, les buses ne sont pas forcément recommandées, car le respect des préconisations (hauteur au-dessus de la banquette*) conduit souvent à mettre en œuvre des ouvrages de plus grande taille, ce qui les rend économiquement moins avantageux par rapport à un autre type de passage (cf. schéma page suivante).

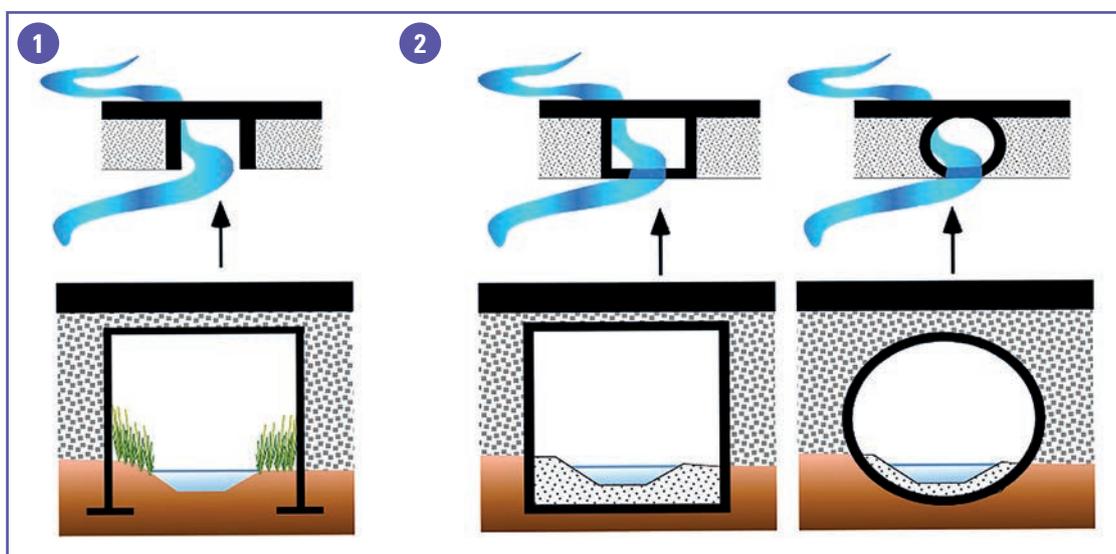


Définition d'un cours d'eau

L'article L215-7-1 du Code de l'environnement* issu de la Loi du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité*, de la nature et des paysages définit la notion de cours d'eau comme :

« Un écoulement d'eaux courantes dans un lit naturel à l'origine, alimenté par une source et présentant un débit suffisant la majeure partie de l'année. L'écoulement peut ne pas être permanent compte tenu des conditions hydrologiques et géologiques locales ».

Les services de la police de l'eau sont chargés de cartographier ces cours d'eau, même si cette carte reste indicative et n'a pas de portée juridique en tant que telle.



1 Principe d'implantation des ouvrages ouverts et fermés :

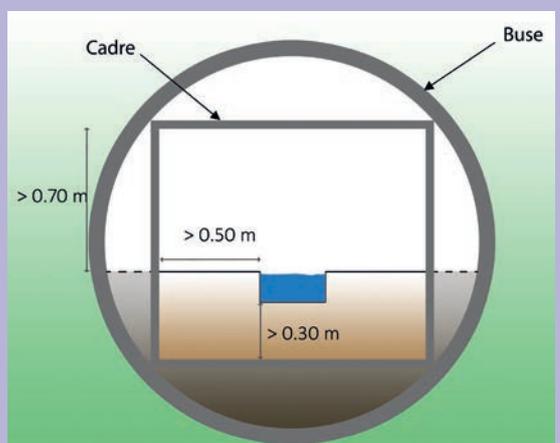
- 1 ouvrage (ou portique) ouvert : pas de modification du lit mineur, fond et berges « naturels », le plus souvent sans dérivation provisoire en phase travaux ;
- 2 ouvrages (ou cadres) fermés : modification du lit mineur, reconstitution du fond et des berges, dérivation provisoire en phase travaux.

Source : Cerema.



L'utilisation d'une buse ou d'un ouvrage voûté conduit souvent à réaliser des ouvrages de taille supérieure pour respecter à la fois la hauteur minimale du radier* et le tirant d'air* entre le pied sec et le haut de l'ouvrage.

Schéma de comparaison entre une buse et un cadre pour respecter le tirant d'air minimal recommandé au-dessus du pied sec pour assurer le passage de la faune.*
Source : Cerema.



■ Les ouvrages ouverts

Les ouvrages ouverts sont à privilégier sur les cours d'eau, car ils permettent de conserver les caractéristiques dimensionnelles du lit mineur et des berges (largeurs, pente, granulométrie) avant aménagement. Cette catégorie d'ouvrages nécessite toutefois que le gabarit de l'ouvrage permette l'écoulement des crues sans mettre l'ouvrage en charge et sans accroître trop fortement la vitesse, auquel cas les berges et les pieds secs, même naturels, s'éroderont rapidement.

Dans le cas de cours d'eau morphologiquement dégradés ou altérés (lit surélargi ou incisé), les ouvrages ouverts offrent également la possibilité de recréer un lit permettant des écoulements compatibles avec le franchissement des poissons (en termes de hauteurs d'eau et de vitesses d'écoulement).

Ce type d'ouvrages doit également être favorisé lorsque les enjeux écologiques pour la petite faune sont élevés (maintien d'un sol naturel favorable), mais également en fonction des enjeux du milieu aquatique :

- lorsque les enjeux de continuités aquatiques sont importants (espèces patrimoniales, cours d'eau classés au titre du L.214-17 du Code de l'environnement* - listes 1 et 2) ;
- lorsque le cours d'eau accueille une faune piscicole à faible capacité de nage et de saut (lamproie de Planer, chabot...) ;

- lorsque la pente du cours d'eau est supérieure à 3 %. Au-delà, avec un ouvrage fermé, la reconstitution d'un radier* de 30 cm dans l'ouvrage en aval nécessite d'enterrer la partie amont de l'ouvrage en profondeur (ex. : pour un ouvrage de 25 m de longueur pour maintenir un radier* de 30 cm à l'aval, il faut enterrer l'ouvrage de plus d'1 m à l'amont) (2 page suivante).

Ces ouvrages sont également retenus en fonction de la qualité géotechnique des terrains (portance suffisante), sans quoi il faudrait mettre en place des dispositifs particuliers (fondations adaptées, purges importantes) potentiellement plus onéreux.

■ Les ouvrages fermés (cadre, buse, voûte maçonnée avec radier*)

Ce sont des ouvrages avec assise (radier*). S'ils ont l'avantage d'assurer une bonne portance à l'ouvrage, même lorsque le sol est de qualité médiocre, la présence du radier (fond) conduit à la réalisation de travaux dans le lit mineur.

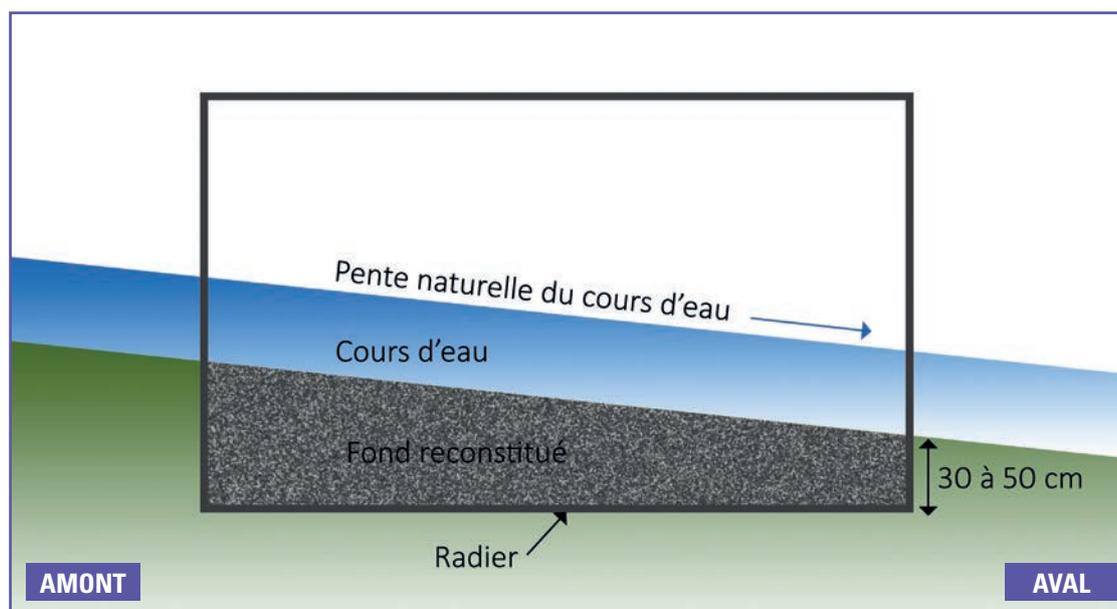
Au-delà de la prise en compte de la faune terrestre, l'aménagement d'un nouveau lit mineur au sein de l'ouvrage nécessite alors de tenir compte de certaines préconisations :

- pour les fossés, il s'agit avant tout d'assurer la continuité hydraulique et en ce sens, l'ouvrage ne doit pas faire obstacle* aux écoulements ;
- pour les cours d'eau, à la continuité hydraulique s'ajoute la continuité piscicole, car le maintien de la circulation du poisson y est obligatoire¹⁰.

¹⁰ Cf. arrêté du 28 novembre 2007 fixant les prescriptions générales applicables aux installations, ouvrages, travaux ou activités soumis à déclaration en application des articles L. 214-1 à L. 214-6 du Code de l'environnement* et relevant de la rubrique 3.12.0 - 2*.

Dans ce cas, il est nécessaire :

- que le lit du cours d'eau rétabli respecte les dimensions initiales du lit mineur (si le lit du cours d'eau est naturel), voire améliore ses dimensions lorsque le cours d'eau est morphologiquement dégradé, de manière à rétablir des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement compatibles avec le franchissement piscicole. Une largeur trop faible conduit en effet à une augmentation des vitesses d'écoulement, au risque d'empêcher les poissons de remonter le courant. Une largeur trop grande conduit, quant à elle, à diminuer la lame d'eau dans l'ouvrage, au risque qu'elle ne soit plus suffisante pour le franchissement des poissons ;
- que la hauteur d'eau dans l'ouvrage soit suffisante notamment en période d'étiage ;
- que l'ouvrage soit positionné en respectant la pente du cours d'eau (pour éviter l'érosion à l'entrée ou à la sortie de l'ouvrage) ;
- que l'arase* supérieure du radier* se situe entre 30 et 50 cm sous la cote du fond naturel du cours d'eau (②) ;
- que le lit naturel dans l'ouvrage soit composé d'un substrat identique ou proche du substrat naturel du cours d'eau ;
- que l'augmentation éventuelle des vitesses dans l'ouvrage (notamment lors des épisodes de crue) ne conduise pas à l'arrachement des matériaux du fond, auquel cas des dispositifs spécifiques doivent être mis en œuvre (dissipateur d'énergie, augmentation de la granulométrie, matelas de gabion*, barrettes de stabilisation...).



② Schéma de principe d'implantation d'un ouvrage hydraulique avec radier. Source : Cerema.



Continuité piscicole

Pour que les ouvrages assurent une continuité piscicole, le respect d'autres recommandations est nécessaire, notamment sur les petits ouvrages (cf. Note d'information : petits ouvrages hydrauliques (section 4 m²) et continuité écologique, SETRA, 2013) :

- vitesse d'écoulement pour des débits compris entre le QMNA* et 2.5 x le module interannuel inférieur à la vitesse de nage de « croisière » des espèces présentes (possibilité dans le cas contraire de mettre en place des dispositifs de dissipation d'énergie, de zones de repos) ;
- tirant d'eau suffisant en période d'étiage en fonction des espèces.

Dimensions de la banquette* petite faune

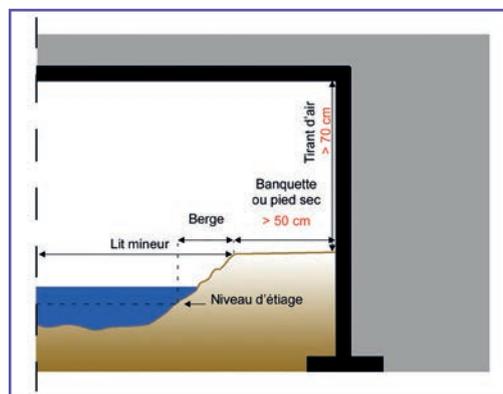
Les prescriptions spécifiques pour l'espace réservé à la petite faune terrestre concernent à la fois les ouvrages fermés et ouverts.

Au-delà de la nécessité de maintenir la transparence hydraulique et d'intégrer la mobilité du cours d'eau, si elle existe, les ouvrages doivent également être dimensionnés et aménagés pour répondre aux exigences de la petite faune terrestre. Ces prescriptions (3) correspondent à :

- la présence d'une banquette* de **0,5 m** de largeur minimum de **chaque côté** du cours d'eau. Cette largeur de référence doit exclure la pente de la berge jusqu'à son sommet, car faisant partie intégrante du lit mineur (cf. schéma page suivante) ;
- la hauteur libre sous l'ouvrage au-dessus de toute la largeur de la banquette* doit être au minimum de **0,7 m**. Cependant, lorsque des contraintes techniques (à justifier) l'imposent, il est possible de réduire ce tirant d'air* à 0,5 m et la largeur du cheminement à 0,3 m (sauf en cas de présence du castor).

- la pente des berges, lorsqu'elles sont reconstituées, doit correspondre à la pente des berges situées de part et d'autre de l'ouvrage. Dans tous les cas, elle doit être au minimum de 1 : 1 voire 2 : 1, lorsqu'elles sont en matériaux naturels.

Lorsque l'on reconstitue le lit (ouvrages fermés), la hauteur de la banquette* doit être calée sur le débit de plein bord (c'est-à-dire sur le sommet des berges) correspondant au **débit de crue de retour d'environ deux ans (1 à 3 ans)**. C'est un élément important à prendre en compte, car un sous-dimensionnement signifie que l'ouvrage sera fréquemment inutilisable.



3 Schéma de principe d'une banquette petite faune dans un ouvrage hydraulique. Source : Cerema.



Rétablissement du passage pour les pêcheurs

Lorsque l'ouvrage doit aussi permettre le passage des pêcheurs, la hauteur disponible au-dessus de la banquette* doit être supérieure à 2 m (2,5 m sont conseillés) et la largeur supérieure à 1,5 m.

Il est également possible, voire nécessaire dans certains cas (cf. encart ci-après sur le vison d'Europe et la loutre), de concevoir des banquettes* en gradin pour permettre le franchissement de la faune lors des événements hydrauliques plus importants. La durée de ces événements hydrauliques est un élément décisionnel important pour caler les autres banquettes*. En effet, si le ressuyage des cheminements se fait en quelques heures, le cloisonnement induit n'apparaît pas significatif. Pour des durées de submersion allant au-delà de 24 heures, les banquettes* supérieures

peuvent alors être requises. En général, il est alors préconisé de caler l'une des banquettes* sur le débit de crue de retour 5 ans (parfois 10 ans) car, au-delà, c'est généralement la totalité du fond de la vallée qui est inondée. Pour les espèces patrimoniales comme la loutre, le castor et le vison d'Europe, on cherchera à caler la banquette* sur le débit de retour 10 ans. Si le fond de la vallée est inondé avec ces débits de crue, un passage supplémentaire en pied sec est à envisager plus haut dans le remblai (cf. fiche n° 11 « Les ouvrages hydrauliques associés à un conduit sec »).



Cas de la loutre, du castor et du vison d'Europe

Les dispositifs en gradins sont en particulier recommandés lorsque le cours d'eau supporte un corridor de déplacement pour les petits mammifères aquatiques ou semi-aquatiques patrimoniaux. Bien que certaines de ces espèces soient capables de nager, elles préfèrent en effet franchir l'ouvrage sur la berge (Bouchardy et coll., 2001). Ainsi, lorsque ces ouvrages sont totalement inondés, les animaux ont tendance à remonter sur le talus et passer sur la route, au risque de se faire percuter, plutôt que de nager dans l'ouvrage.

Pour limiter les risques pour ces espèces au cours de l'année, les berges artificielles, garantissant le passage à sec, doivent être calées sur les valeurs de débits les plus importantes (crue de fréquence décennale au minimum). Ce calage peut alors nécessiter d'augmenter la taille de l'ouvrage. Dans ce cas, il est possible, si la largeur de l'ouvrage le permet, de prévoir un plus grand nombre de banquettes* dont les hauteurs seront calées sur plusieurs débits intermédiaires.



Banquette en gradins (béton).
 Source : P. Fournier GREGE.

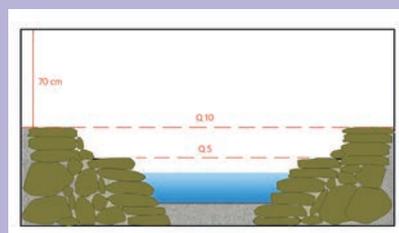
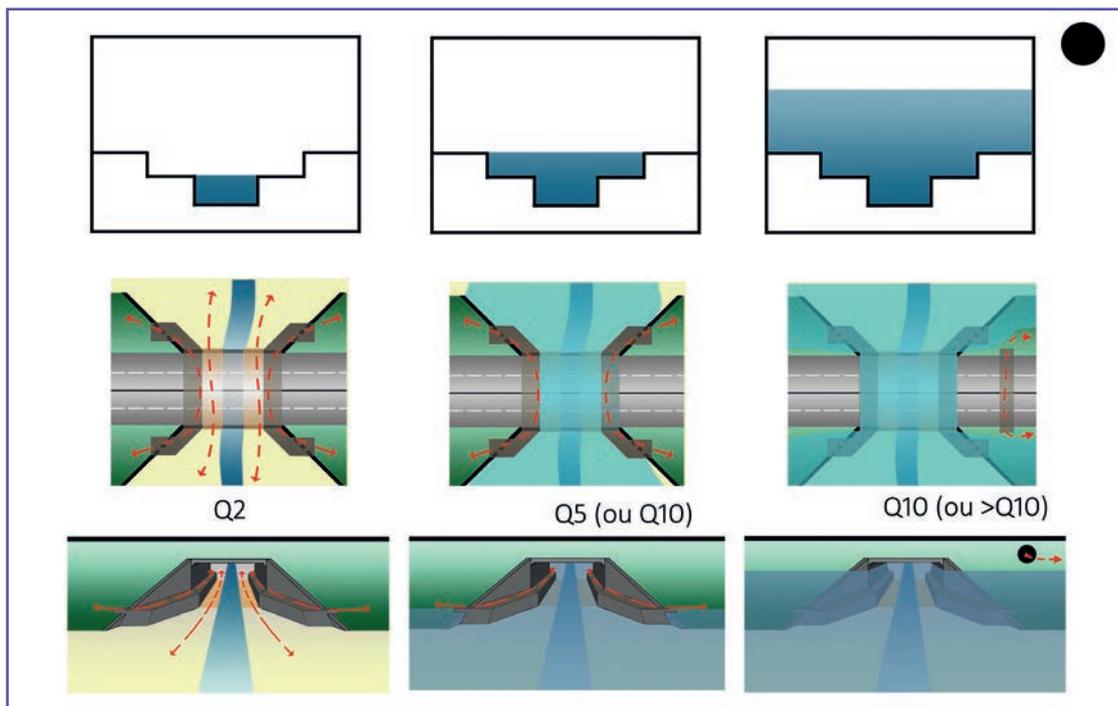


Schéma de principe d'une banquette en gradins. Source : Cerema.

Pour les banquettes* en gradins, il faut par ailleurs veiller à les connecter à la fois aux berges d'étiage pour les plus basses et au talus routier pour les niveaux les plus hauts. En effet, il faut que les animaux puissent continuer à circuler jusqu'à

la banquette* lorsque le reste de l'ouvrage et de la vallée est inondé (④). Si ce choix est retenu, chaque banquette* doit avoir une **largeur minimale de 40 cm** et l'**étagement maximal entre deux niveaux doit être de 50 cm**.



④ Schéma représentatif des possibilités de franchissement d'un ouvrage équipé d'une banquette petite faune en gradins à différents niveaux de débit. Source : Cerema.

Les dimensions d'un ouvrage hydraulique sont également à ajuster en fonction de la longueur de traversée. Il est ainsi recommandé pour la franchissabilité que le rapport ouverture¹¹/longueur réponde aux prescriptions suivantes :

- lorsque le cours d'eau n'accueille pas de poisson :
 - le rapport ouverture/longueur doit être dans tous les cas ≥ 0.25 ,

– lorsque le cours d'eau accueille une faune piscicole :

Longueur de couverture	Rapport ouverture/longueur
$L < 30$ m	≥ 0.25
$30 < L < 60$	≥ 0.5
$L > 60$	≥ 0.75 ou recherche d'un autre type d'ouvrage



Même sur les petits ouvrages de rétablissement hydraulique/faune, la longueur de traversée peut être réduite par la mise en œuvre d'un mur de soutènement au-dessus de la tête d'ouvrage, pour retenir le remblai.

Mur de soutènement réalisé au-dessus d'un ouvrage hydraulique permettant de limiter la longueur de traversée.
Source : Cerema.



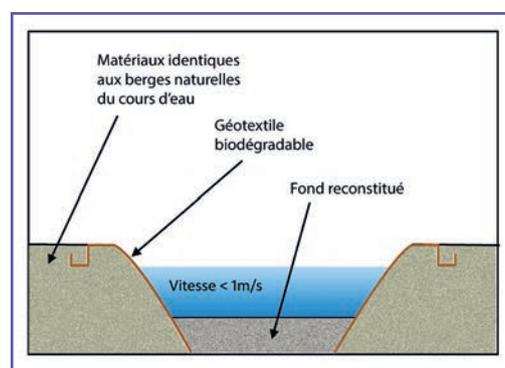
Dispositions constructives d'une banquette* petite faune

Pour les ouvrages fermés, la reconstitution d'un lit mineur s'accompagne également de la reconstruction de nouvelles berges et de la réalisation de banquettes*. Si le rétablissement de ces espaces en matériaux naturels apparaît séduisant, il n'est pas toujours possible. En effet, l'augmentation des vitesses dans certains ouvrages n'est pas toujours compatible avec le maintien des matériaux, en particulier les plus fins.

En fonction des situations, quelques recommandations peuvent être suivies :

- lorsqu'en période de hautes eaux, la vitesse dans l'ouvrage est inférieure à 1 m/s et que la largeur du lit majeur est inférieure ou égale à la largeur de l'ouvrage (c'est-à-dire que la banquette* n'est pas totalement submersible) :

les berges et le pied sec sont réalisés en utilisant des matériaux identiques aux berges naturelles du cours d'eau ou du fossé (5). La reconstitution de ces berges nécessite cependant, notamment lorsqu'il s'agit de matériaux fins, de protéger ces nouvelles berges avec un géotextile biodégradable pour s'assurer d'une bonne tenue les premières années, le temps qu'elles se stabilisent.



5 Schéma de principe de reconstitution des berges (et du pied sec) en matériaux identiques aux berges naturelles du cours d'eau. Source : Cerema.

¹¹ Par exemple pour un ouvrage rectangulaire, il s'agit de la section = (largeur X hauteur) et pour une buse de (D²).



Exemple de banquette en matériaux naturels.
 Source : Cerema.



Exemple d'un ouvrage dans lequel quelques sinuosités ont été réalisées dans le lit mineur. Source : Cerema.

Sur les cours d'eau, lorsque la taille de l'ouvrage le permet (respect d'une largeur de banquette* d'au moins 50 cm dans toute la traversée), la constitution de sinuosités pour diversifier le lit mineur dans l'ouvrage est à envisager. Ces sinuosités peuvent être réalisées en utilisant des blocs (20-50 cm) qui permettent à la fois de créer ces sinuosités et de la rugosité (limitation des vitesses de courant) et de protéger les berges de l'érosion (dans les sinuosités concaves du lit) (6 et 7).

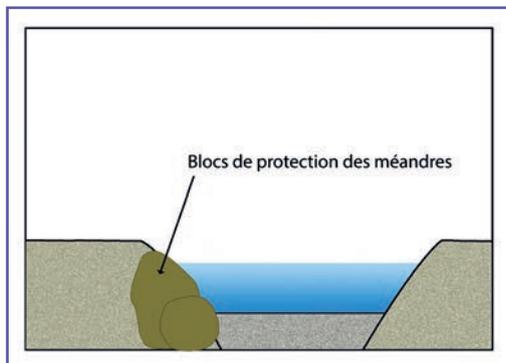
• lorsque le lit majeur du cours d'eau est supérieur à la taille de l'ouvrage :

les berges reconstituées doivent être suffisamment stables pour éviter l'arrachage des matériaux lors des forts événements hydrauliques.

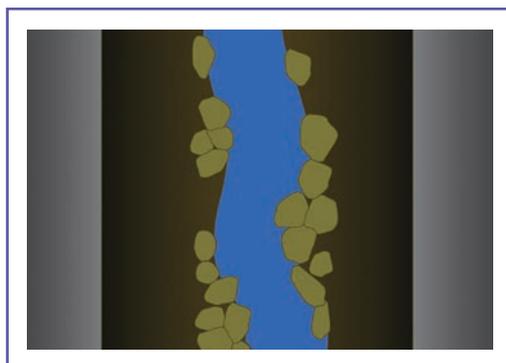
Aussi, s'il s'avère après vérification que les matériaux naturels présentent un risque d'arrachage lors des crues, plusieurs types d'aménagements sont envisageables :

1 La réalisation de berges avec des blocs maçonnés (8) :

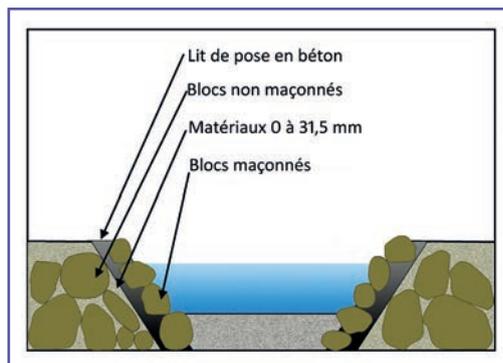
la banquette* est majoritairement constituée d'enrochements de gros blocs accompagnés de matériaux de tailles plus petites (ex. : catégorie 0 à 31,5 mm) pour combler les vides. Les berges proprement dites sont quant à elles constituées d'un lit de pose en béton (réalisé avec une pente de 1 pour 1), dans lequel on vient insérer des blocs de 20-30 cm (jusqu'à environ la moitié de leur épaisseur). Les aspérités ainsi créées, avec ces blocs qui dépassent, permettent de maintenir une rugosité dans le lit mineur du cours d'eau et ainsi de limiter la vitesse d'écoulement.



6 Profil en travers d'un ouvrage utilisant des blocs pour constituer des sinuosités à l'intérieur d'un ouvrage. Source : Cerema.



7 Vue schématique en plan d'un ouvrage utilisant des blocs pour constituer des sinuosités à l'intérieur d'un ouvrage. Source : Cerema.



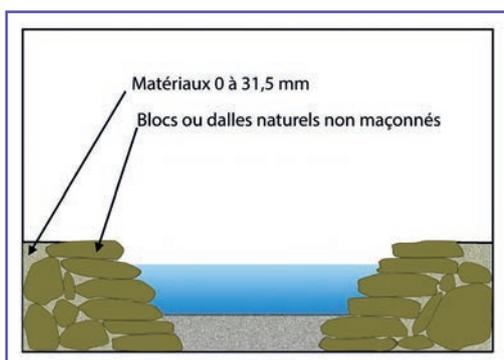
8 Schéma de principe de reconstitution des berges avec des blocs maçonnés. Source : Cerema.



Rétablissement d'un cours d'eau sous l'ouvrage avec berges maçonnées. Source : Cerema.

2 L'enrochement de la totalité des berges à partir de blocs ou dalles naturels (9) :

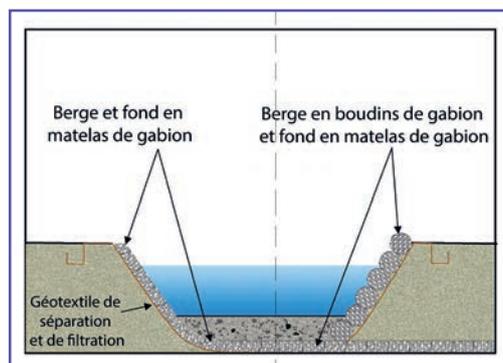
ces éléments doivent être de taille assez importante (> 30 cm) et disposés les uns sur les autres en quinconce pour assurer leur maintien. Des éléments plus fins (0-31,5 mm) viennent combler les interstices.



9 Schéma de principe de reconstitution des berges avec des blocs ou dalles naturels. Source : Cerema.

3 La pose de boudins et matelas de gabions* (10 et 11) :

l'intérêt de cette technique est de stabiliser les berges tout en offrant de nombreuses cachettes entre les pierres et de piéger les fines.



10 Schéma de principe de reconstitution des berges avec des boudins de gabions*. Source : Cerema.



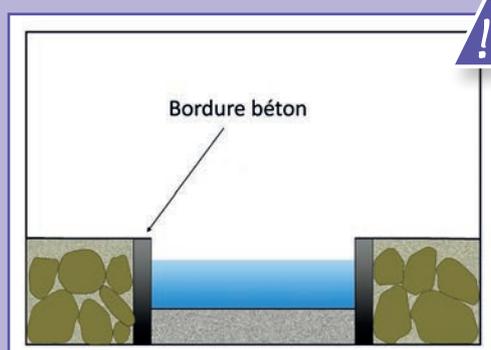
11 Reconstitution de berges en matelas de gabions*. Source : AquaTerra Solutions.

Dans ces trois cas, un lit mineur sinueux peut également être envisagé.

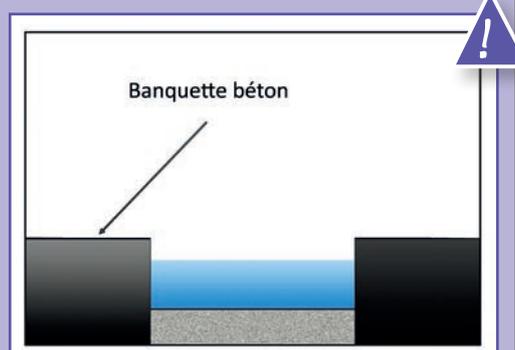


La réalisation de bordures verticales bétonnées ou de banquettes en béton n'est pas recommandée pour deux raisons :

- ces dispositifs ne permettent pas à un animal de remonter s'il tombe dans l'eau ;
- le manque de rugosité sur les berges conduit à augmenter la vitesse du cours d'eau dans l'ouvrage.



Parois verticales bétonnées. Source : Cerema.





L'aménagement proprement dit d'une banquette faune au sein d'un ouvrage hydraulique n'est pas déterminant dans le coût de l'ouvrage. Ce sont surtout le surdimensionnement de l'ouvrage pour créer les banquettes, ainsi que la mise en œuvre et la gestion de chantier (dérivation provisoire, fouille, purge, substitution de matériaux, étanchéité...) qui influent sur le coût final.

Exemple : l'aménagement d'un cadre simple petite faune de 2X1 m sur la déviation de Port-sur-Saône (région Grand Est) a coûté de l'ordre de 800 €/ml, alors que le coût de l'aménagement d'un ouvrage hydraulique de dimensions semblables (2x1,5 m) sur la VR 52 (région Grand Est) a atteint plus de 4 000 €/ml.



Il existe également des dispositifs de banquettes préfabriquées qui sont intégrés directement à l'ouvrage. Il peut s'agir de banquettes pleines en béton ou de banquettes en encorbellement*. Si possible, ces dispositifs doivent être réservés à l'aménagement d'ouvrages existants disposant d'un équipement similaire (ex. : prolongement d'un ouvrage en place, par exemple dans le cadre d'une mise à 2x2 voies), notamment pour les raisons précédemment évoquées (cf. encart « Point de vigilance »).



Élément de cadre équipé d'une banquette béton préfabriquée.
Source : Cerema.



Élément de cadre équipé d'un encorbellement béton préfabriqué.
Source : Cerema.

Préconisations et aménagements complémentaires des banquettes* petite faune

■ Raccordement et protection des berges aux entrées des ouvrages

Au sortir de l'ouvrage, les berges doivent dans tous les cas être raccordées au terrain naturel afin que la continuité terrestre soit assurée, sans quoi le passage ne sera pas fonctionnel (13 page suivante).

Par ailleurs, à l'amont des ouvrages, les points de contact entre la banquette* et la berge naturelle du cours d'eau constituent très souvent des foyers d'érosion. La différence de résistance des matériaux face à l'action du courant s'accompagne en effet de phénomènes de dégradation accélérés entre la banquette* et les berges naturelles et conduit à la formation de marches à

l'entrée du passage (14 page suivante). Pour prévenir ces phénomènes localisés, il est recommandé :

- de prolonger les banquettes* au-delà de l'ouvrage ;
- de stabiliser les berges au sortir de l'ouvrage (12) ;
- de limiter l'accroche du courant au niveau du foyer potentiel d'érosion, par exemple en réalisant une banquette* dont l'angle formé avec la berge est de l'ordre de 45° (15 page suivante).



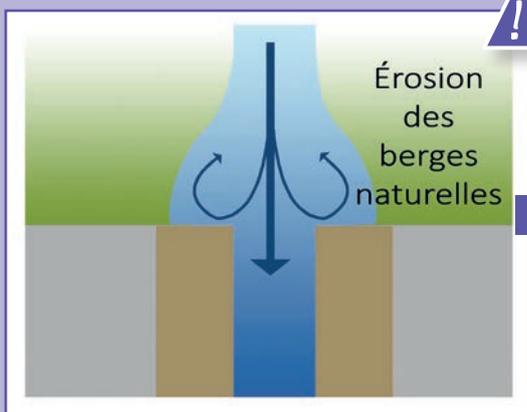
12 Sortie d'ouvrage aménagée pour assurer le maintien des berges. Source : P. Fournier GREGE.



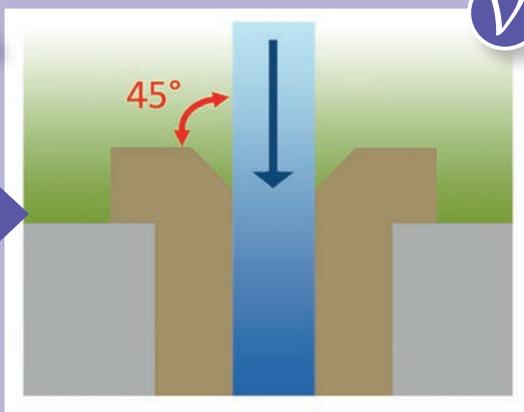
13 Banquette en matériaux naturels non raccordée à la berge. Ouvrage de Verdenal (54). RN4 Strasbourg-Nancy. Source : DIR Est.



14 Présence d'une marche à l'entrée du passage limitant l'accès aux plus petites espèces. A34 Reims, Charleville-Mézières. Source : Cerema.



15 Schéma de principe d'une banquette petite faune risquant de favoriser l'érosion des berges à l'entrée de l'ouvrage. Source : Cerema.



16 Schéma de principe d'aménagement de la banquette petite faune à l'entrée d'un ouvrage pour éviter l'érosion des berges. Source : Cerema.

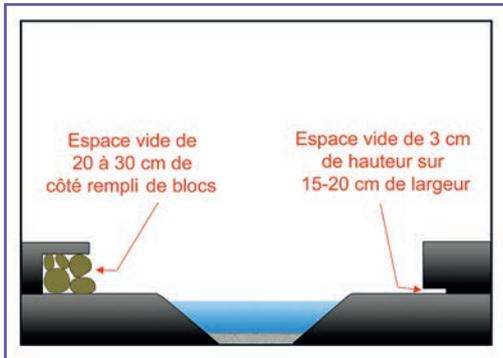


■ Aménagements d'habitats annexes

À l'image des grands passages pour la faune, lorsque les vitesses de débit dans l'ouvrage restent modérées ou lorsque les banquettes* sont insubmersibles, il est possible d'améliorer l'attractivité de l'ouvrage par l'aménagement de caches pour les plus petits animaux grâce à la mise en œuvre d'andains* correspondant, pour les ouvrages hydrauliques, à de simples cordons de cailloux et blocs (absence de bois). Ces dispositifs peuvent être installés contre les murs de l'ouvrage. Si le dispositif est susceptible d'être soumis au courant, la taille des matériaux doit être définie en fonction de la

vitesse des écoulements pour éviter leur arrachement. Avec des blocs de taille supérieure à 20 cm éventuellement scellés en partie (bien veiller à maintenir un maximum de caches), les risques d'arrachement restent modérés sur la majorité des petits cours d'eau.

Des aménagements spécifiques créant soit des caches, soit un cheminement à couvert (16, 17 et 18 page suivante), sont très utiles pour les micro-mammifères*, notamment pour les musaraignes aquatiques (*Neomys fodiens* ou *Neomys anomalus*) ou encore pour le campagnol amphibie, tous deux protégés.



16 Schéma de principe de création d'abris au sein des banquettes faune. Source : Cerema.



17 Exemple d'abris créés dans la banquette faune d'un ouvrage. Source : Michel Bramard OFB.



Un dispositif d'« encoche micromammifères* » conçu par le GREGE sur un ouvrage réaménagé par ASF/Vinci Autoroutes sur l'A89 (aménagement également installé sur la LGV SEA) a montré au cours des premiers suivis d'efficacité que ce cheminement à couvert était particulièrement fréquenté par les micromammifères*, avec plus de 400 passages enregistrés, dont 273 de musaraignes aquatiques venant chasser dans l'abri.



18 Aménagement au sein de la banquette faune d'un cheminement pour les micromammifères*. Source : P. Fournier GREGE.

Les ouvrages hydrauliques associés à un conduit sec

Lorsque les caractéristiques du projet ne permettent pas l'aménagement d'une banquette*, la solution consiste à aménager un conduit sec (cf. fiche n° 14 : ouvrages spécifiques non spécialisés) à proximité de l'ouvrage hydraulique. L'ouvrage doit au minimum se situer au-dessus de la cote du lit de plein bord (cote du débit de retour estimée 1 à 3 ans) c'est-à-dire au-dessus de la cote des berges du lit mineur.

Lorsque c'est possible, il est cependant recommandé d'implanter l'ouvrage au plus haut dans le talus

pour éviter tout risque d'inondation, même pendant les événements plus importants.

Pour les espèces semi-aquatiques patrimoniales, l'ouvrage doit être calé au-dessus du débit décennal (cf. fiche n° 11 « Aménagement des ouvrages hydrauliques »). Un dispositif, de type clôtures, peut par ailleurs empêcher les espèces d'accéder à la chaussée.

Le positionnement de la buse à un niveau supérieur au débit centennal permet quant à lui de ne pas nécessiter de dossier de police de l'eau.

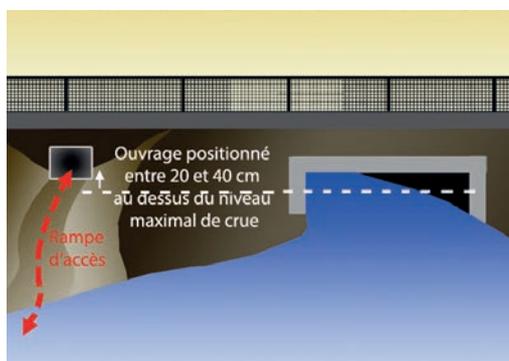


Schéma de principe de l'implantation d'un conduit sec à proximité d'un ouvrage hydraulique. Source : Cerema.



Exemple d'aménagement d'un conduit sec. Source : Vinci Autoroutes/Réseau ASF.

Les ouvrages hydrauliques de rétablissement des écoulements temporaires des talwegs secs

Ce sont généralement des petits ouvrages de type buses, conduits ovoïdes, dalots*, d'une hauteur généralement inférieure à 1 m. Ces ouvrages sont utilisés pour rétablir les petits écoulements naturels temporaires ou liés à l'assainissement, sans toutefois qu'il s'agisse des eaux de ruissellement des chaussées (polluées).

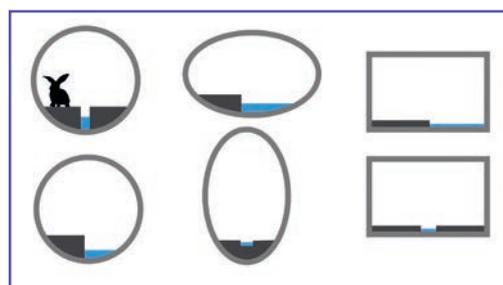
Dans ces ouvrages, il n'est pas nécessaire de se prémunir contre les risques de submersion. Pour que ces ouvrages puissent être considérés comme des passages pour la petite faune, il faut seulement qu'ils restent franchissables une grande partie de l'année, c'est-à-dire hors des périodes de forts événements pluvieux et pour une durée assez courte du fait de leur ressuyage. En dehors de ces événements importants, ces ouvrages doivent rester en partie ou totalement secs.

Les problèmes récurrents rencontrés sur cette catégorie d'ouvrages sont généralement observés pendant les périodes intermédiaires, c'est-à-dire au cours des périodes légèrement à modérément pluvieuses au cours desquelles les ouvrages doivent être franchissables par la petite faune. Lors de ces périodes, ces ouvrages, bien que peu sollicités d'un point de vue hydraulique, sont généralement inondés en partie ou sur toute la longueur et le passage de la petite faune y est perturbé, voire impossible (22 et 23 page suivante).

C'est pourquoi, il est recommandé de réaliser des dispositifs de concentration des petits écoulements pour le rendre à nouveau franchissable au plus vite. Il s'agit :

- soit de réaliser une échancrure ou une petite banquette* béton de 2 à 4 cm de haut en fonction des écoulements. Ces dispositifs peuvent être réalisés sur demande en usine lors de la fabrication des éléments ou sur place (19 et 20 page suivante) ;
- soit de mettre en place un dispositif de drain dans l'ouvrage, voire un conduit si les écoulements sont permanents, surmonté d'un lit de cailloux drainants (21 page suivante) et débouchant sur une fosse de diffusion au sortir de l'ouvrage.

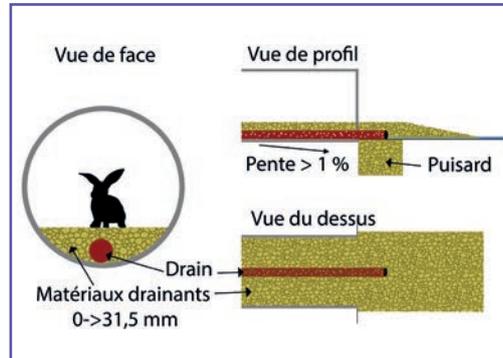
Ces dispositifs nécessitent d'être mis en œuvre au fur et à mesure de la pose des éléments, car une fois l'ensemble des éléments posés, il est difficile d'intervenir dans l'ouvrage.



19 Schéma de principe de dispositifs de concentration des faibles écoulements dans un ouvrage. Source : Cerema.



20 Cadre à cunette avec entonnement préfabriqué.
Source : Bonna sabla.



21 Schéma de principe de drainage d'un ouvrage pour maintenir au maximum le passage de la faune au sec.
Source : Cerema.



22 Accumulation de matériaux en sortie d'ouvrage empêchant le drainage de l'ouvrage. Source : Cerema.



23 Ouvrage inondé limitant le passage de certains animaux au moins une partie de l'année. Source : Cerema.

FICHE
12

Comment aménager des ouvrages agricoles/forestiers/piétons pour la petite faune ?

Tous les ouvrages de rétablissements agricoles et forestiers, voire piétons, qu'ils soient inférieurs ou supérieurs, ne nécessitent pas forcément d'être aménagés dans les conditions d'un passage « toute faune », si leur localisation ne présente pas d'intérêt particulier en termes de rétablissement des continuités écologiques.

Même s'ils n'ont pas une vocation écologique de première importance, leurs caractéristiques peuvent toutefois offrir, après quelques aménagements, des possibilités de traversées favorables pour tout un cortège de petits animaux terrestres. En revanche, ils ne participent que très peu au maintien des échanges biologiques de la grande faune, même si des passages occasionnels peuvent y avoir lieu.

Il serait donc regrettable de ne pas tenir compte de ces possibilités de passage pour assurer le maximum de transparence globale à l'infrastructure.

Les passages supérieurs présentent un intérêt particulier, car ils sont généralement situés sur des sections en déblais où il est difficile d'installer des passages spécifiques petite faune de type buses ou dalots*.

L'aménagement de ces passages consiste, comme pour les passages toute faune, à créer un espace favorable au passage des animaux de part et d'autre du chemin. L'espace réservé est toutefois ici limité à des **bandes de terre végétalisées de 1 à 2 m** de chaque côté du chemin (❶, ❷ et ❸ page suivante).

Sur les ouvrages supérieurs, une couche de terre limitée d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur suffit alors à l'installation d'une simple végétation herbacée, voire quelques arbustes. L'implantation d'un andain* de taille réduite ou de quelques tas de pierres reste également envisageable sur ces ouvrages (supérieurs ou inférieurs).

L'espace étant assez souvent réduit, la séparation des usages est possible en utilisant des petites bordures béton le long du chemin (elles permettent de guider les usagers à moteur sans qu'elle ne constitue une réelle contrainte de chevauchement pour ces véhicules).

Pour éviter les écrasements, il faudra toutefois, de façon régulière, mettre en place des bordures inclinées pour que les plus petits animaux qui accèdent à l'ouvrage par le chemin puissent toujours accéder à la bande enherbée depuis la voie de circulation.



Utilisation des bandes enherbées par les lézards des souches

Source : Daunicht, 2011.

En Allemagne, le suivi des lézards des souches sur et aux abords d'un passage équipé d'une banquette enherbée a montré l'utilisation du cordon de végétation par les individus.

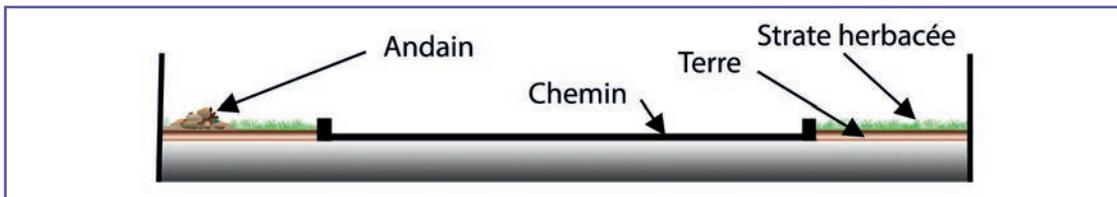




❶ Passage inférieur agricole et petite faune.
 Source : Cerema.



❷ Passage supérieur mixte équipé de bandes enherbées.
 Source : Cerema.



❸ Schéma de principe de l'aménagement de bandes enherbées sur un passage supérieur. Source : Cerema.



Le coût d'une banquette enherbée est essentiellement lié à l'augmentation de la largeur totale de l'ouvrage. Cf. fiche n° 9.

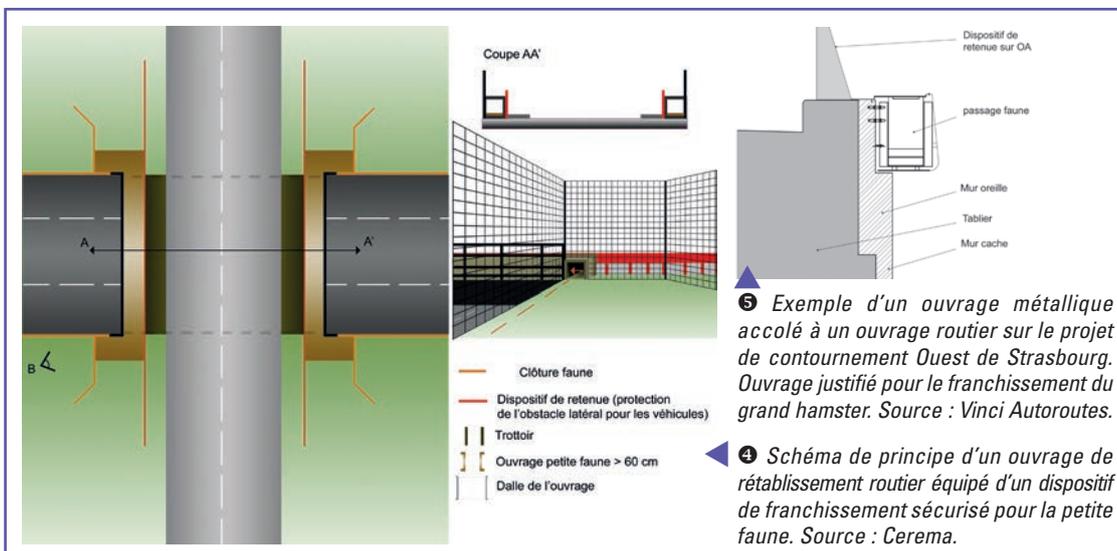
Il existe également d'autres dispositifs plus spécifiques mais attachés à l'aménagement d'ouvrages de rétablissement de chemins revêtus ou de routes.

L'objectif est alors d'offrir une possibilité de passage sécurisé pour les petits animaux en dissociant totalement la voie circulée du passage pour la petite faune.

Cette solution nécessite cependant quelques précautions pour assurer une protection minimale des individus au sortir de l'ouvrage (❹).

Si ces solutions sont envisageables, elles restent relativement coûteuses. Elles sont à réserver à des enjeux bien spécifiques ou à de longues sections sur lesquelles les possibilités de rétablissement sont très peu nombreuses.

Pour limiter la largeur de l'ouvrage et les coûts, il est également possible d'envisager des structures métalliques plus légères adossées à l'ouvrage et ne nécessitant pas l'élargissement de la dalle de l'ouvrage (❺).



❺ Exemple d'un ouvrage métallique accolé à un ouvrage routier sur le projet de contournement Ouest de Strasbourg. Ouvrage justifié pour le franchissement du grand hamster. Source : Vinci Autoroutes.

❹ Schéma de principe d'un ouvrage de rétablissement routier équipé d'un dispositif de franchissement sécurisé pour la petite faune. Source : Cerema.

FICHE
13Comment aménager les ouvrages spécialisés
(passages amphibiens-passages canopée) ?

Il s'agit d'ouvrages réalisés pour une espèce ou un groupe d'espèces dont la valeur biologique ou la spécificité écologique rend nécessaire l'aménagement d'ouvrages particuliers¹².

La décision de créer un ouvrage spécialisé pour la petite faune répond à plusieurs critères :

- biologiques : niveau d'enjeu de l'espèce ou du groupe d'espèces, type de déplacements

(occasionnels, journaliers, saisonniers...), caractéristiques des échanges (dispersés sur un large front, concentrés dans un couloir...)

- techniques : possibilité de franchissement (supérieur, inférieur), complémentarité avec les ouvrages non spécialisés.

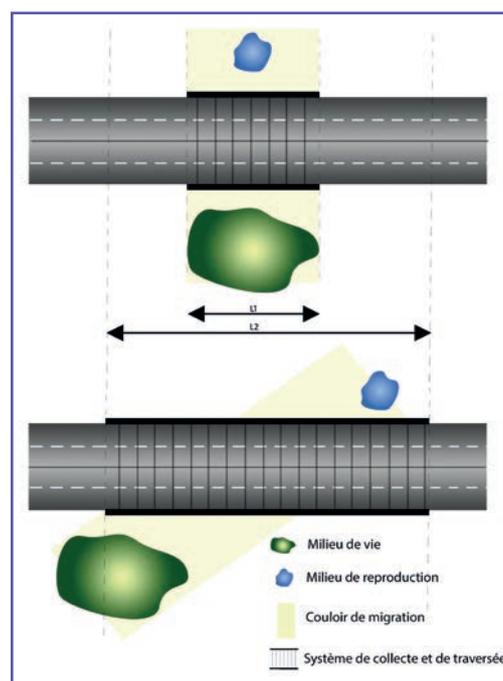
Passages amphibiens ou « batracoducs »

Les ouvrages types de franchissement des voies routières pour les amphibiens (à l'appellation encore utilisée de « batracoducs » ou « crapauducs » ou encore de « passage à petite faune ») correspondent à une association de deux dispositifs :

- un dispositif de traversée comportant une série de tunnels sous chaussée plus ou moins espacés ;
- et un dispositif de barrières et de collecte dont l'objectif est d'empêcher les amphibiens d'accéder à la chaussée et de les guider vers chacun des tunnels (ou traversée) sous chaussée.

Ces systèmes sont à installer sur l'ensemble du couloir de migration* en veillant à tenir compte de l'axe de déplacement des individus entre les milieux de vie et les milieux de reproduction (❶ ci-contre).

¹² Des compléments sont disponibles dans le rapport : *Amphibiens et dispositifs de franchissement des infrastructures de transport terrestre*, Cerema 2019.



❶ Schéma de principe d'un dispositif de collecte des amphibiens en fonction du couloir de migration des espèces. Source : Cerema.

Il existe deux grandes catégories d'installations :

- les systèmes de traversée à double sens ;
- les systèmes de traversée à sens unique.

Système de traversée à double sens

Ce système est, depuis une décennie, le plus couramment utilisé notamment parce qu'il est le plus simple à installer et qu'il est considéré comme présentant le meilleur rapport coût-bénéfice. Sauf configuration topographique particulière, **c'est le système à privilégier.**

■ Description

Ce système associe un dispositif de collecte des amphibiens de type muret ou cornière (voire clôtures) installé de chaque côté de l'infrastructure à une série de simples conduits sous chaussée, espacés régulièrement le long du système. Les ouvrages de ce dispositif ont pour principale caractéristique d'être utilisables dans les deux sens de traversée (migration aller et retour).

■ Fonctionnement

Les amphibiens en migration (post ou prénuptiale) sont stoppés par des barrières collectrices, de hauteur suffisamment élevée pour être infranchissables par la grande majorité des espèces. Les individus vont alors les suivre le long des bas-côtés de la voie, jusqu'aux traversées sous chaussée qu'ils pourront emprunter.

■ Caractéristiques constructives

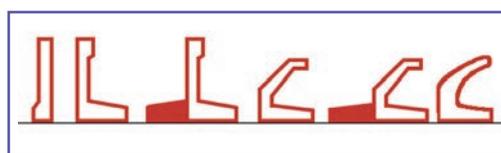
Les barrières collectrices en L

Il existe différentes formes (❷) et différents types de collecteurs en L : béton (❸), métal, plastique.

La hauteur hors-sol des collecteurs doit être supérieure à 40 cm (voire 60 cm si présence de la grenouille agile) pour qu'ils constituent un véritable guide au déplacement. Pour une meilleure efficacité, une corniche de retour (bavolet) est également recommandée (> 10 cm) en partie haute pour éviter toute tentative d'escalade (ex. : les urodèles*, les rainettes).

Les barrières de collecte de type clôtures ne sont généralement pas préconisées, car elles présentent trop souvent, à long terme, des dégradations nécessitant un entretien plus régulier.

Toutefois, elles peuvent être proposées sur des linéaires importants dans lesquelles les migrations* seraient diffuses et où les traversées sous chaussée auraient une interdistance élevée.



❷ Différentes formes d'obstacles collecteurs.
Source : M. Owallier.



❸ Exemple de bordure béton. Source : Maibach.

(cf. fiche n° 21 « Dépendances/clôtures et barrières »)

Les traversées sous chaussée

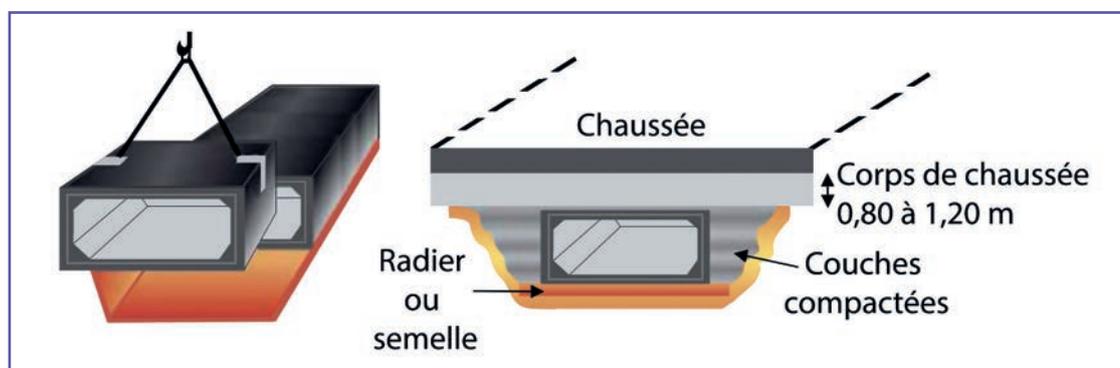
Plusieurs types de traversées sous chaussée sont possibles. Elles sont généralement constituées d'une série d'éléments préfabriqués de 1,5 à 2,5 m de long. Les cadres béton sont à privilégier et notamment les ouvrages ouverts (côté sol), car ils ont pour avantage de maintenir un contact avec une humidité et une température naturelles du substrat plus favorables au déplacement des amphibiens et plus globalement à la faune. L'utilisation de cadres fermés nécessitera quant à elle de recouvrir le fond du passage d'une couche de terre de quelques centimètres (à mettre en œuvre lors de la pose de chaque élément préfabriqué). L'utilisation de buses est à proscrire pour ces dispositifs, car elles sont moins favorables au franchissement par les amphibiens (tout particulièrement par les urodèles* qui ont tendance à grimper le long des parois et à errer dans les tunnels pendant des jours).

Les ouvrages sont installés sur un lit de pose de 10 à 20 cm de matériaux non gélifs compactés. Le remplissage latéral pour les ouvrages habituels est effectué sur 40 cm d'épaisseur (couche compactée de matériaux non gélifs). Le corps de chaussée comprend une couche de structure de 0,8 à 1,2 m d'épaisseur au-dessus de l'ouvrage pour assurer la stabilité et la pérennité du dispositif (4). Il existe également des ouvrages dont les parois épaisses (> 20 cm) et le plafond (> 25 cm) permettent de limiter la hauteur du recouvrement.

La section intérieure des ouvrages doit être supérieure à 0,75 m² (sauf pour les plus petites routes bidirectionnelles où la section de l'ouvrage peut éventuellement être plus petite en fonction des contextes), mais elle nécessite d'être adaptée à la longueur des traversées sous chaussée. Dans l'ouvrage de référence international *Hand book of road ecology*, les auteurs proposent une typologie d'aide à la décision intégrant la forme et la longueur des traversées. Sans être une norme, ce tableau donne une tendance générale sur laquelle les opérateurs peuvent s'appuyer (cf. tableau ci-dessous).

Forme	Taille (dimensions à l'intérieur de l'ouvrage)	Longueur des traversées sous chaussée				
		20 m	20-30 m	30-40 m	40-50 m	50-60 m
Cadre	I x H (dimensions à l'intérieur de l'ouvrage)	1 x 0,75 m	1,5 x 1 m	1,75 x 1,2 m	2 x 1,5 m	2,3 x 1,75 m

D'après Hamer A.J., Langton T.E.S. & Lesbarrères D., 2015, *Making of safe leap forward : mitigating road impacts on amphibian*.



4 Schéma de principe d'un ouvrage cadre constitué d'une série d'éléments préfabriqués posés sur une semelle en béton maigre. Source : Cerema.

Les ouvrages doivent être installés avec une pente supérieure à 1 % afin d'assurer l'évacuation de l'eau. Si l'ouvrage ne dispose pas d'exutoire naturel gravitaire, un dispositif spécifique d'infiltration devra être envisagé. C'est en particulier le cas, lorsque les ouvrages d'entrée et de sortie sont situés en dessous du terrain naturel (accès via une fosse d'entonnement).

Ces dispositifs sont généralement recommandés sur des sections allant de plusieurs centaines de mètres à un ou deux kilomètres. L'interdistance entre chaque ouvrage de traversée doit être de l'ordre de 30 à 40 m. Les ouvrages non spécifiques

de type ouvrages hydrauliques peuvent également être intégrés au dispositif.

Pour le cortège des espèces dites « pionnières » de milieux généralement ouverts et temporairement en eau (ex. : crapaud vert, sonneur à ventre jaune, crapaud calamite) ou lorsque les couloirs de migration* sont très diffus (ex. : au sein d'un vaste massif forestier) et concernent de grandes sections (> 2 km), l'interdistance peut être augmentée sans dépasser toutefois la centaine de mètres. Ce choix devra toutefois être spécifiquement justifié par l'avis d'un spécialiste et par des données précises sur le suivi des routes migratoires, la norme restant une interdistance de 30 m à 40 m.

■ Avantages/inconvénients

Avantages :

- dispositif très efficace pour les amphibiens ;
- utilisable pour l'ensemble de la petite faune terrestre ;
- pas de problème important de conception sauf topographie particulière, zone inondable... ;
- peu de points de fragilité et peu d'entretien (notamment avec des bordures béton ou métalliques) ;
- gestion des eaux d'écoulement facilitée ;
- possibilité pour les espèces de faire demi-tour.

Pas d'inconvénients majeurs.

Système de traversée à sens unique

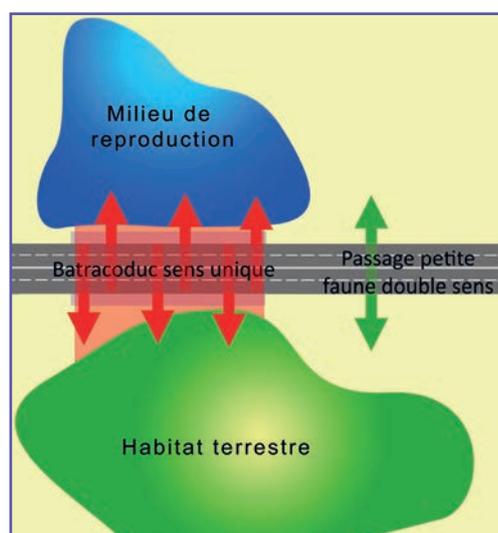
Ce dispositif est historiquement réservé aux populations d'amphibiens dont les migrations* sont localisées et relativement importantes (reproduction précoce et qualifiée d'explosive comme le crapaud commun, la grenouille rousse et la grenouille agile). C'est un dispositif qui aujourd'hui est de moins en moins recommandé, notamment en raison de son utilisation restreinte quasiment à un seul groupe d'animaux. Dans certains cas et contextes bien particuliers, le choix d'un tel dispositif peut cependant encore être proposé, en particulier lorsque les franchissements concernent de manière exclusive un axe de migration* pour les amphibiens (ex. : route forestière longeant un étang où seuls les amphibiens sont susceptibles de traverser ⑤).

■ Description

L'objectif est celui de réduire les écrasements d'amphibiens sur l'axe de migration et de les forcer à emprunter les traversées sous chaussée. À la différence du précédent système, celui-ci est constitué de deux tunnels dissociés, totalement indépendants, le premier pour la migration* aller et le second pour la migration* retour.

De part et d'autre de la chaussée, le dispositif est composé d'une barrière collectrice correspondant à un caniveau en « U », chaque caniveau étant installé sur l'ensemble du front de déplacement

des amphibiens (ou au moins sur la partie la plus fréquentée). Chacun des caniveaux est relié à des traversées sous chaussée en sens unique. Dans le sens de la migration* prénuptiale vers le site aquatique de la reproduction, on trouve donc un tunnel totalement disjoint du second qui assure, en théorie, le retour des adultes (migration* postnuptiale) et celui, en été, des métamorphes et/ou juvéniles.

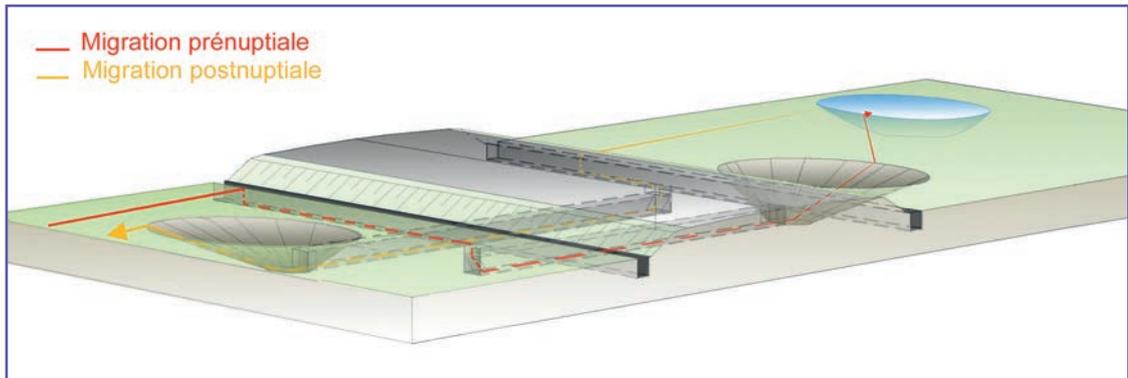


⑤ Exemple d'un contexte où l'infrastructure longe le milieu de reproduction et où un dispositif à sens unique se justifie. Source : Cerema.

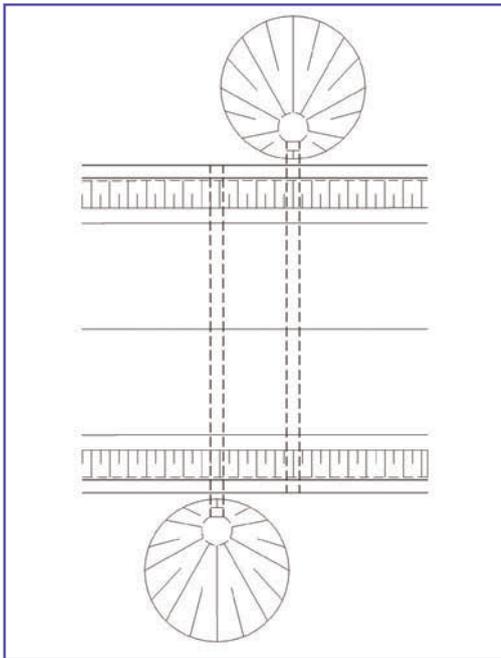
■ Fonctionnement (⑥ à ⑨ page suivante)

Lorsque les amphibiens migrent (soit dans un sens soit dans l'autre) et arrivent au niveau des dispositifs de collecte, ils tombent dans le caniveau. Ils n'ont alors pas d'autre solution (la hauteur les empêche de ressortir en sautant) que de suivre les parois du caniveau jusqu'à des fosses (ou des échappatoires, s'ils souhaitent rebrousser chemin – cf. page 133) dans lesquelles ils tombent. Au fond de la fosse (en plan incliné à 45° de façon à éviter qu'ils ne se blessent en tombant), qui correspond également à l'entrée du tunnel sous chaussée, ne pouvant plus faire demi-tour, ils n'ont d'autre possibilité que d'emprunter le passage à sens unique pour s'échapper. La fosse est par ailleurs couverte sur 1,5 m de long avec éventuellement des bavettes pour assurer un maximum d'obscurité et éviter les courants d'air. La seule lumière provenant de la sortie opposée conduit alors plus facilement les individus vers la sortie de l'ouvrage.

Quand l'infrastructure est suffisamment en remblai, la sortie de l'ouvrage se fait au niveau du terrain naturel, sinon la sortie des amphibiens se fait via des fosses d'entonnement pour rattraper le niveau du terrain naturel.



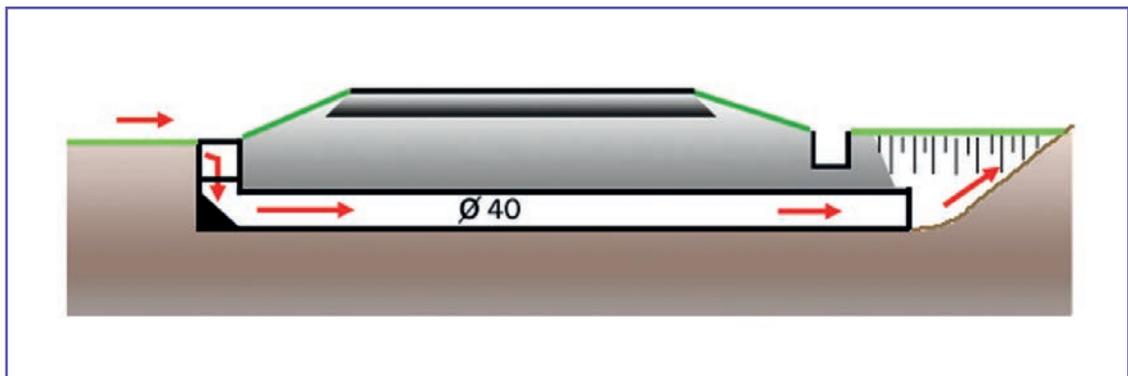
⑥ Représentation schématique d'un dispositif de franchissement à sens unique et du cheminement des amphibiens suivant le sens de leur déplacement. Source : Cerema.



⑦ Vue en plan d'un double conduit. Source : Cerema.



⑧ Dispositif de franchissement à sens unique de Larchant (77). Source : Cerema.



⑨ Profil en travers d'un conduit à sens unique. Source : Cerema.

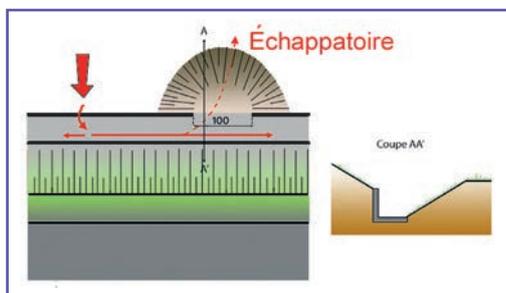
■ Caractéristiques constructives

Chaque caniveau est en béton de dimensions minimales 0,4 m x 0,4 m. L'épaisseur de 5 cm doit offrir une résistance suffisante notamment sur les petites infrastructures, où les véhicules qui stationnent en bordure de chaussée sont susceptibles d'empiéter sur les structures.

De préférence, les caniveaux sont implantés sur un lit de pose suffisamment dimensionné pour éviter le tassement.

Sauf dispositif constructif spécifique, une hauteur minimale de 1,2 m est à prévoir entre le conduit et la chaussée. Les traversées sont implantées sur toute la longueur du dispositif avec un intervalle régulier de 30 à 40 m entre chaque conduit du même dispositif. Ces ouvrages sont calés entre 60 cm et 1 m en dessous du niveau du fond du caniveau. La jonction entre l'ouvrage et le caniveau se fait par une « fosse » de 40 cm de large dont le fond bétonné est incliné de 45°.

Afin de toujours permettre de rebrousser chemin aux amphibiens ainsi qu'aux autres animaux qui ne souhaitent pas traverser, des échappatoires de 1 m de large doivent être disposées à égale distance des doubles conduits (l'objectif étant qu'ils soient éloignés des entrées des passages) (10).



10 Schéma en plan d'un dispositif d'échappatoire.
Source : Cerema.

Une légère pente dans les caniveaux vers les fosses, puis vers la sortie opposée doit permettre l'évacuation de l'eau. Lorsque les sorties se font via une fosse d'entonnement, le dispositif doit également prévoir un dispositif de drainage pour éviter l'inondation en sortie (fosse de drainage, puits d'infiltration).

■ Avantages/inconvénients

Avantages :

- dispositif efficace pour les amphibiens ;
- force le passage des animaux.

Inconvénients :

- les espèces empruntant les ouvrages dans le sens opposé à leur principe initial (via la sortie) peuvent avoir des difficultés, voire ne pas réussir à retrouver la sortie de l'autre côté ;
- la maîtrise de l'eau peut s'avérer problématique dans ces ouvrages. Les caniveaux en « U » ne doivent pas constituer des systèmes de collecte des eaux de surface ou être raccordés au réseau d'assainissement routier. L'eau ne doit pas non plus y stagner (risque de noyade, ponte). Lorsque la sortie des ouvrages est effectuée par des fosses d'entonnement (ou des rampes), l'évacuation des eaux peut s'avérer complexe ;
- demande un entretien régulier pour que la végétation et les dépôts n'envahissent pas le dispositif ;
- ces dispositifs ne servent quasiment qu'aux amphibiens pendant une courte période. La taille et l'accessibilité des ouvrages sont une réelle difficulté pour les autres groupes faunistiques ;
- coût généralement plus élevé qu'un dispositif double sens.



Le coût d'un dispositif comprenant le système de guidage et de traversée est estimé entre 400 et 1 200 €/ml d'infrastructure équipée.

Cette grande variabilité est à la fois liée à la configuration du site, au type de dispositif, aux matériaux utilisés, à la longueur d'infrastructure équipée, mais également à la longueur de traversée et à la taille des ouvrages.

En général, les dispositifs double sens sont moins onéreux que les dispositifs à sens unique.



Les dispositifs de guidage doivent faire l'objet d'une attention particulière pour éviter qu'ils ne constituent des pièges pour les amphibiens et/ou la petite faune (exemple : dispositif de guidage finissant dans un collecteur d'eau de ruissellement). Les dispositifs de collecte des eaux pluviales doivent ainsi être dissociés des dispositifs de guidage.



Dispositif de guidage conduisant à un avaloir.
Source : Jérôme Bacquaert, CD62.

L'utilisation de dispositifs de collecte des eaux de ruissellement (des eaux de chaussée ou naturelles) ne doivent par ailleurs pas être accessibles aux amphibiens et/ou à la petite faune (ou au minimum disposer d'échappatoires) pour éviter que ceux-ci ne restent bloqués et finissent par y périr. C'est par exemple souvent le cas avec les dispositifs de caniveaux en « U ».

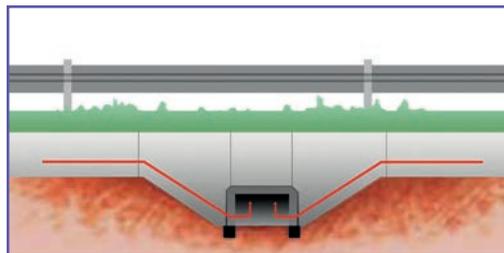
Dispositifs complémentaires

- Aux extrémités des barrières collectrices certaines configurations nécessitent l'aménagement de dispositifs de guidage en retour pour éviter le plus possible la pénétration des amphibiens sur les voies (12).



12 Dispositif de guidage en retour aux extrémités du collecteur. Source : Maibach.

- Lorsque l'ouvrage est situé en dessous du niveau du collecteur bien souvent pour disposer d'un corps de chaussée suffisant, une fosse de capture équipée de rampes d'accès à pente douce peut être envisagée pour conduire les amphibiens jusqu'à l'entrée du passage (11).



11 Schéma de principe d'une rampe d'accès au passage.
Source : Cerema.



Ouvrage équipé d'une rampe d'accès. Source : Maibach.

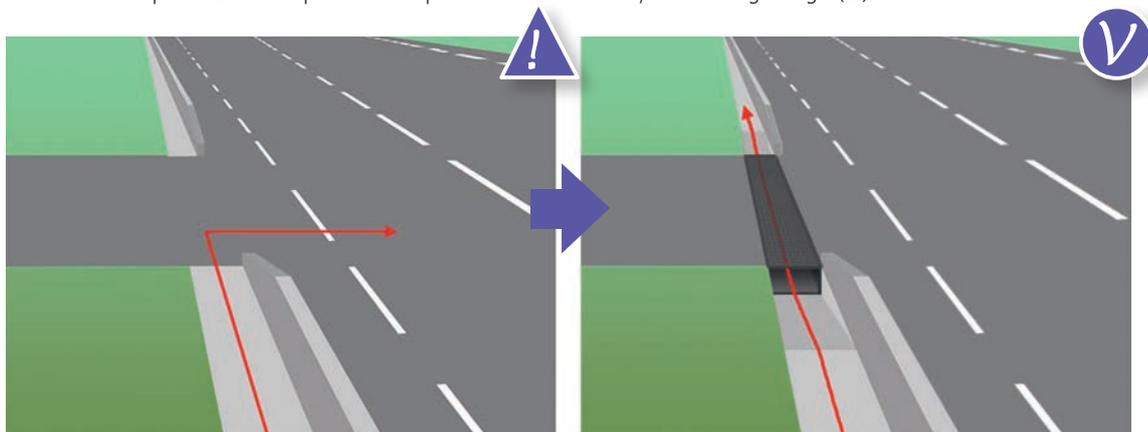
- Pour forcer les amphibiens à emprunter l'ouvrage, des dispositifs de guidage complémentaires perpendiculaires aux murets peuvent être ajoutés à l'entrée des ouvrages (13).



13 Dispositif de guidage visant à faciliter l'utilisation du passage par les amphibiens. Source : Cerema.

• Lorsqu'une voie d'accès secondaire rejoint l'infrastructure principale et qu'elle intercepte un dispositif de guidage des amphibiens (clôture ou muret), la voie d'accès à l'infrastructure peut constituer un point d'entrée pour les amphibiens.

Dans ce cas, il faut veiller à assurer le passage des amphibiens sous la voie secondaire en installant un dalot* ou un ouvrage ajouré (ouvrage préfabriqué, ouvrage avec grille canadienne) relié au système de guidage (14).



14 Dispositif de franchissement d'une voie perpendiculaire à l'infrastructure principale évitant aux amphibiens d'accéder à cette dernière. Source : Cerema.

Les passages peuvent présenter un danger pour les usagers de la route et donc nécessiter des aménagements complémentaires de protections de type barrières de sécurité. Dans le cadre d'un système de traversée double sens, un collecteur de type muret béton (15) peut également être envisagé pour assurer à la fois le guidage des amphibiens et le système de sécurité.



15 Muret en béton assurant le guidage des amphibiens et la sécurité des usagers. Source : Cerema.



En ce qui concerne les aménagements sur voie ferrée classique, il est possible d'aménager des vides sous les rails. Un butoir guide les animaux qui circulent sur le patin du rail. La distance entre les passages sur rail est de 15 à 25 m.



Dispositif de franchissement des rails pour les amphibiens. Source : Cerema.

Sur les infrastructures routières, les chaussées ouvertes au niveau du toit, sur toute la traversée, ou au niveau du terre-plein central ne sont pas recommandées notamment pour éviter les apports d'eau à forte concentration en sels, issus des opérations de salage. Ces eaux sont en effet fortement toxiques pour les amphibiens. L'attractivité des amphibiens par rapport à la lumière ne doit par ailleurs s'exercer qu'à la seule vue de la sortie du tunnel, située de l'autre côté des voies.



Ouvrage de franchissement ajouré. Source : Commission Environnement, Commune d'Ahuy.

Passages canopée

En France, les espèces susceptibles d'utiliser les dispositifs canopée sont peu nombreuses et les retours d'expérience concernent essentiellement des mesures de rattrapage sur des infrastructures de petit gabarit, installées en particulier pour permettre à l'écureuil et aux autres petits mammifères arboricoles (martre, muscardin...) de franchir

l'infrastructure (cf. fiche n° 18). Il s'agit pour la plupart de dispositifs utilisant un système de cordage.

Des expériences à l'étranger montrent toutefois qu'il existe d'autres procédés utilisant des structures métalliques légères ou des filets de cordes tendues supportés par une armature métallique (cf. photos ci-dessous) ou des câbles.



Le coût d'un passage canopée constitué d'une armature métallique est de l'ordre de 30 000 à 45 000 € HT pour un passage de 20 m.



Passage canopée à structure métallique. Source : Animex.



FICHE
14

Comment aménager les passages petite faune non spécialisés ?

Types et tailles des passages

Il existe plusieurs types d'ouvrages petite faune non spécialisés. Il s'agit généralement de conduits béton et éventuellement métalliques implantés dans le remblai (cf. tableau ci-dessous).

Ces ouvrages ont pour avantages d'être assez efficaces et relativement peu coûteux.

Pour toutes ces catégories d'ouvrages, bien qu'il en existe de plusieurs types et de nombreuses dimensions, il est recommandé d'utiliser des dalots* ouverts ou fermés de **1 à 1,5 m de large et 1 m de haut**. Les dimensions sont toutefois à adapter en fonction de la longueur de traversée (cf. tableau ci-dessous).

Cas les plus fréquents

Longueur de traversée	20-30 m	30-50 m	> 50 m
Largeur recommandée	> 1 m	> 1,5 m	> 2 m
Hauteur recommandée	> 1 m	> 1,5 m	> 1,5 m
Section	> 1 m ²	Environ 2 m ²	3 m ²

Dans certains cas, lorsque la couche de couverture est faible (remblais), la hauteur de l'ouvrage pourra être plus petite sans être, sauf cas exceptionnel, inférieure à 0,70 m.

	Type	Avantages/inconvénients	Taille/coût ¹³
Dalots béton ouverts sur appui	 <i>Source : Christian Bulle (CD Doubs).</i>	Permet de maintenir un sol naturel.	$l^{14} = 1 \text{ à } 1,5 \text{ m} \times H^{15} = 1 \text{ m}$ 300 à 600 €/ml HT
Dalots fermés	 <i>Source : Cerema.</i>	Nécessite de remplir l'ouvrage d'une couche de terre pour disposer d'un sol naturel. Prévoir de garder la hauteur minimale entre le sol reconstitué et le haut de la buse.	$l = 1 \text{ à } 1,5 \text{ m} \times H = 1 \text{ m}$ 400 à 800 €/ml HT
Buses béton	 <i>Source : Cerema.</i>	Nécessite de remplir l'ouvrage d'une couche de terre pour disposer d'un sol naturel. Prévoir de surdimensionner la buse pour garder la hauteur minimale entre le sol reconstitué et le haut de la buse.	$\varnothing = 1 \text{ m}$ 300 à 600 €/ml HT
Conduits ovoïdes	 <i>Source : Cerema.</i>	Nécessite de remplir l'ouvrage d'une couche de terre pour disposer d'un sol naturel. La partie inférieure de la buse peut être bétonnée en usine sur une vingtaine de centimètres pour faciliter le déplacement de la faune (attention au raccordement de cette partie avec le terrain naturel).	$H = 0,60 \text{ m} \times l = 1 \text{ m}$ 300 à 600 €/ml HT
Buse en polyéthylène haute densité (PEHD) recyclé	 <i>Source : Cerema.</i>	Nécessite de remplir l'ouvrage d'une couche de terre pour disposer d'un sol naturel. Sans tête d'ouvrage béton, le raccord de la clôture est difficile et rarement étanche. Prévoir de surdimensionner la buse pour garder la hauteur minimale entre le sol reconstitué et le haut de la buse.	$\varnothing = 1 \text{ m}$ 200 à 500 €/ml HT
Dôme	 <i>Source : Maibach.</i>	Permet de maintenir un sol naturel mais hauteur maximale uniquement au centre de l'ouvrage.	S'il est possible de rencontrer ce type d'ouvrage, cette référence ne semble plus disponible actuellement.

¹³ Coût de la fourniture et pose.¹⁴ l : largeur.¹⁵ H : hauteur.



Buse
métallique



Source : Cerema.



Nécessite de remplir l'ouvrage d'une couche de terre pour disposer d'un sol naturel.

Ces ouvrages ont le désavantage de présenter des problèmes de corrosion sur le long terme.

Conditions d'implantation

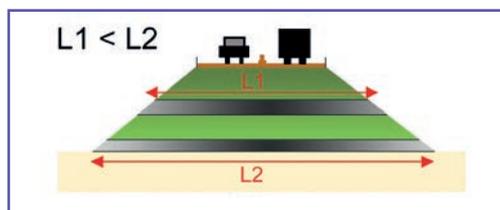
L'ouvrage est généralement positionné de 0,4 m à 1,2 m sous chaussée en fonction de la présence d'une dalle de transition ou du type d'ouvrage (renforcé ou non).

Il est conçu à partir de l'association en série d'éléments préfabriqués d'environ 2 m de longueur.

L'ouvrage doit être posé avec une légère pente (> 1 %), afin de permettre l'évacuation des eaux.

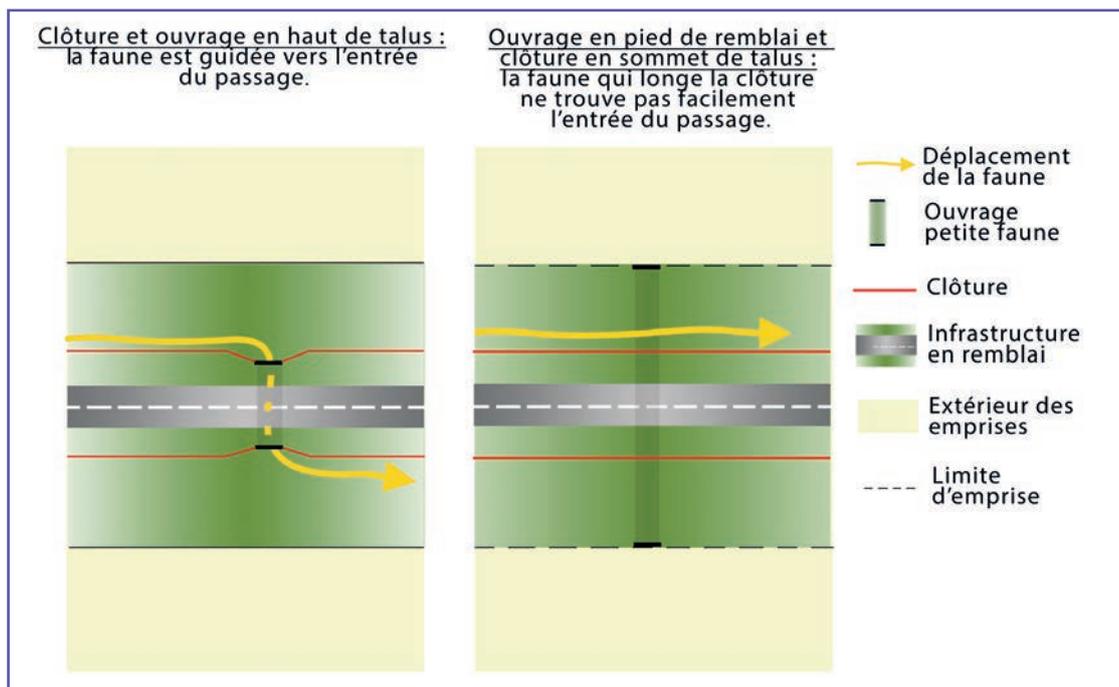
L'implantation de l'ouvrage doit être effectuée au plus haut dans le remblai pour deux raisons (❶) :

- limiter la longueur de traversée pour la faune,
- assurer un meilleur guidage de la faune par la clôture, lorsque celle-ci est située, comme recommandé, en haut du talus (accès des dépendances vertes à la faune).



❶ Schéma de principe de l'implantation d'un ouvrage petite faune dans un remblai. L'ouvrage doit être positionné au plus haut dans le remblai pour limiter la longueur de traversée. Source : Cerema.

Dans le cas contraire, lorsque les clôtures sont situées en haut du talus et que les entrées des ouvrages sont en pied de remblai, le guidage est moins efficace (❷).



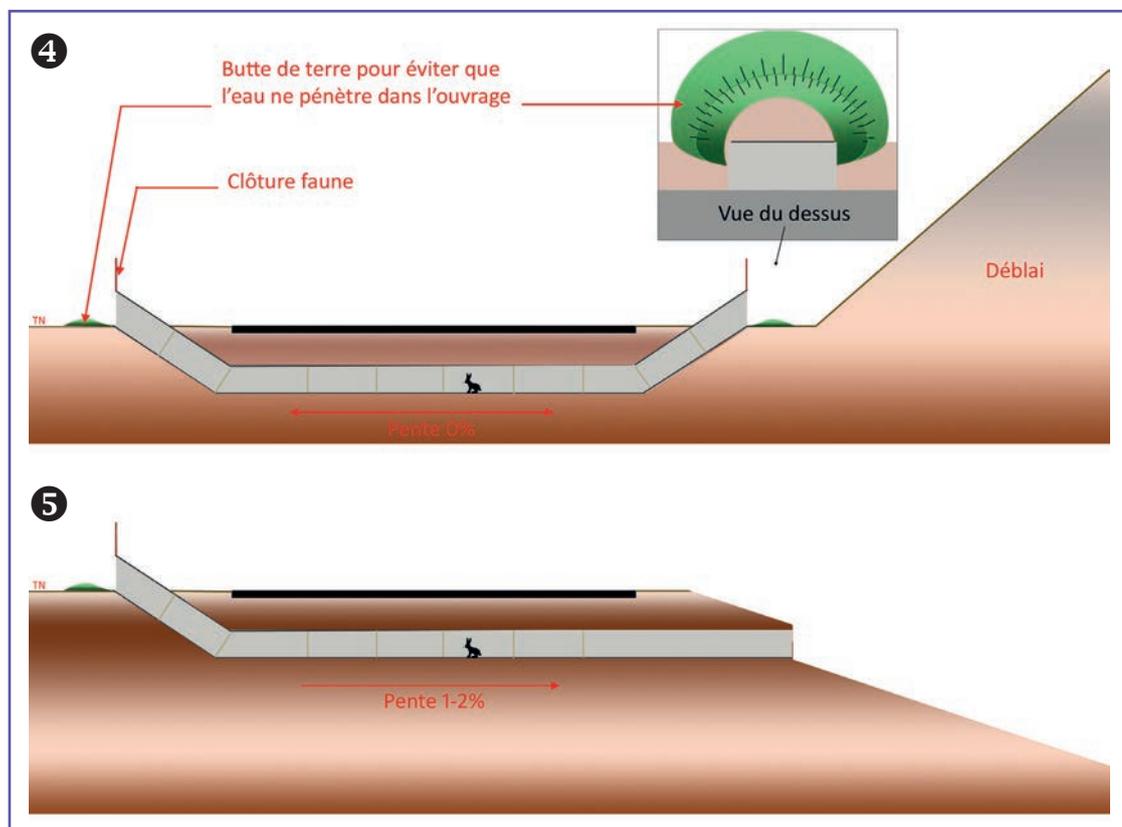
❷ Schéma de principe permettant de visualiser l'intérêt de positionner à la fois les clôtures et les passages petite faune en haut de talus. Source : Cerema.

Lorsque l'ouvrage est sous le niveau du terrain naturel (route en déblai ou à niveau), la réalisation et l'accès à un ouvrage petite faune nécessite :

- soit la réalisation d'une fosse d'entonnement (❸),
- soit des ouvrages dont la pente des premiers mètres est importante pour passer suffisamment en profondeur sous l'infrastructure (une seule entrée d'ouvrage si le profil est mixte (❹) sinon les deux têtes d'ouvrage en pente (❺)). Lorsque les deux entrées sont en pente, afin d'éviter que l'eau de surface ne ruisselle dans l'ouvrage depuis les entrées, une butte de terre doit être mise en place pour lui faire obstacle*.



❺ Fosse d'entonnement au droit d'un passage petite faune d'une section d'infrastructure située au niveau du terrain naturel. RD 16 (CD57). Source : Cerema.



Profil en travers d'un passage petite faune présentant deux entrées en pente ❹ (ou une ❺) lorsque l'infrastructure est au niveau du terrain naturel. Source : Cerema.

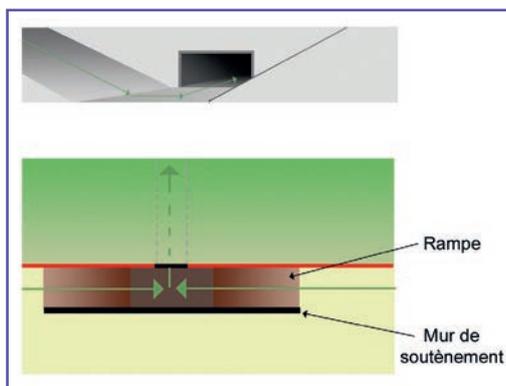


Passage petite faune en pente sur une infrastructure située au niveau du terrain naturel.
 Source : Cerema.



- soit des rampes d'accès étroites, parallèles à l'infrastructure (⑥), lorsque les emprises sont restreintes ou la topographie difficile (forte pente à la sortie du passage, zone de déblai).

Dans certains cas, un mur (ou des blocs ⑦) de soutènement est nécessaire pour retenir les matériaux susceptibles de s'effondrer vers l'entrée de l'ouvrage.



⑥ Schéma de principe d'une rampe d'accès au passage petite faune. Source : Cerema.

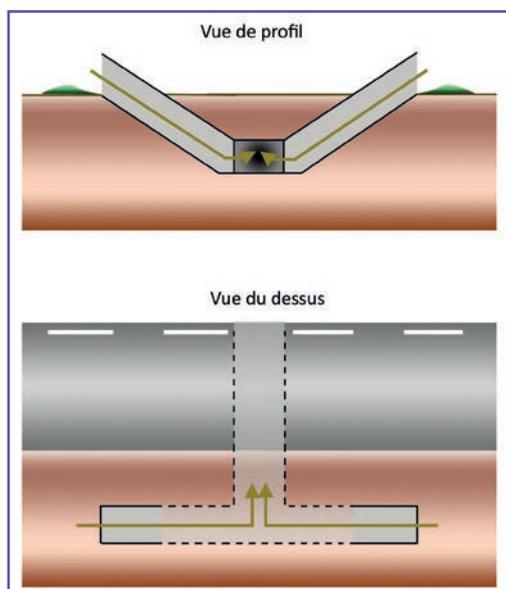


⑦ Rampe d'accès protégée par un mur maçonné côté dépendances vertes. Source : Cerema.

Les rampes d'accès peuvent également être remplacées par des têtes d'ouvrages en pente ce qui permettra notamment d'éviter le ravinement des fines vers l'entrée du passage. (⑧ et ⑨ page suivante). L'efficacité est toutefois plus limitée de par l'augmentation de la longueur de couverture, la diminution de luminosité et l'absence de visibilité sur la sortie.



⑧ Exemple d'un passage petite faune dont la tête d'ouvrage est en pente et parallèle à l'infrastructure. Source : Cerema.

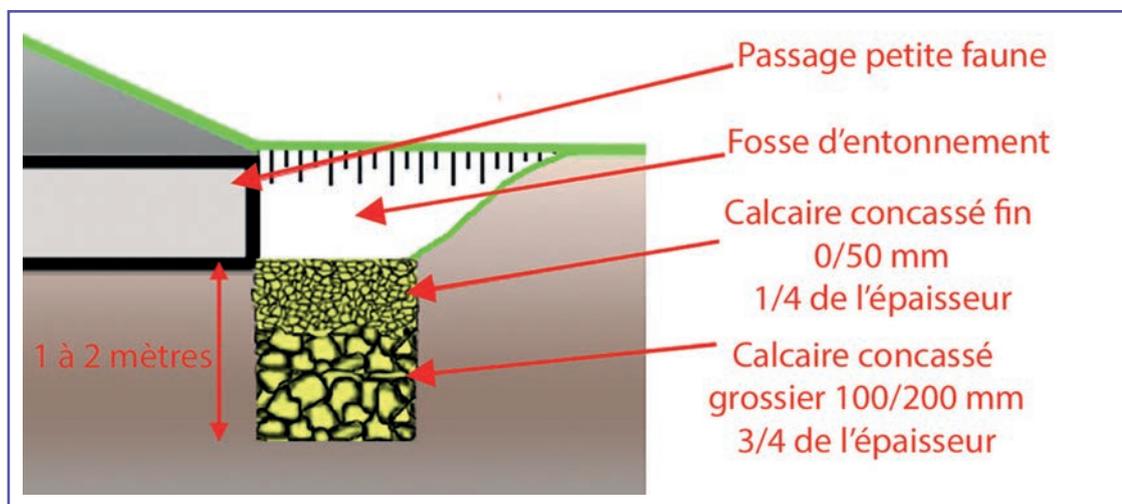


⑨ Schémas de principe d'un ouvrage dont l'entrée est parallèle à l'infrastructure et en pente jusqu'à atteindre la profondeur du passage sous l'infrastructure. Source : Cerema.

Lorsque les ouvrages sont en dessous du niveau du terrain naturel et que les sols ne sont pas suffisamment filtrants, les risques d'inondation des ouvrages ou des entrées sont importants (⑩). Pour éviter ou au moins limiter cette situation, il est nécessaire de réaliser une fosse de drainage ou d'infiltration aux entrées du passage (⑪).



⑩ Les passages petite faune situés sous le terrain naturel et n'étant pas équipés d'une fosse de drainage sont souvent inondés et infranchissables. Source : Cerema.

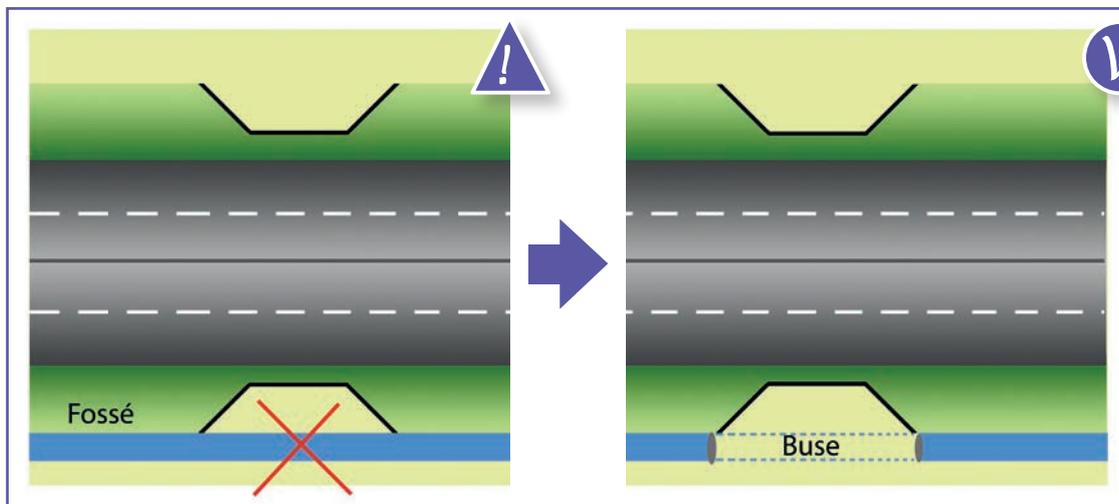


⑪ Principe de fosse de drainage à l'entrée d'un passage petite faune. Source : Cerema.

Il faut veiller à l'absence d'obstacle* à la sortie de l'ouvrage et en particulier à la présence de fossés qui bien souvent sont réalisés en limite d'emprise. De tels dispositifs peuvent piéger ou empêcher la petite faune de traverser. Une rampe d'accès (⑫), un busage du fossé (⑬ page suivante), un entonnement (pour diminuer la lame d'eau) ou encore, lorsque les écoulements sont faibles, un remplissage en matériaux drainants (⑭ page suivante) (éventuellement recouverts d'un géotextile et de matériaux plus fins) permettent de s'affranchir de ces difficultés.



⑫ Dispositif de franchissement d'un fossé de type plateforme en bois. Source : Cerema.



13 Schéma de principe d'installation d'une buse pour supprimer l'obstacle créé par un fossé situé au sortir d'un passage petite faune. Source : Cerema.



14 Exemple schématique d'un dispositif de franchissement d'un fossé par remplissage de matériaux drainants. Source : Cerema.

L'équipement des extrémités des passages avec des têtes d'ouvrage (préfabriquées ou réalisées en béton coffré) permet de faciliter le raccordement au terrain naturel et aux clôtures, de maintenir les terres et de diminuer l'entretien ultérieur (15).

La présence de mur en retour ou en « aile » (16) permet quant à elle de diminuer légèrement la longueur de traversée et de faciliter le guidage des animaux jusqu'à l'entrée de l'ouvrage.



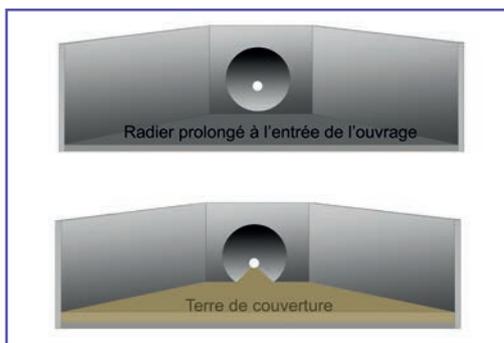
15 Tête d'ouvrage en béton coffré. Source : Cerema.



16 Tête d'ouvrage avec des murs ouverts. Source : Cerema.

Il est important de veiller à l'absence de marche à l'entrée de l'ouvrage (17). Si l'existence d'une marche n'est pas problématique pour les grandes espèces, elle peut s'avérer plus délicate pour les plus petites (hérissons...).

Pour éviter le développement de la végétation, il est possible de poursuivre le radier* au sortir de l'ouvrage (18) et de le recouvrir de terre. Lorsque ce dernier est implanté dans la pente du remblai (notamment pour limiter la longueur de traversée), le radier* peut se prolonger par une rampe maçonnée en pente douce qui sera également recouverte par une couche de terre. Pour améliorer le maintien



18 Schéma de principe d'un radier au sortir de l'ouvrage. Source : Cerema.



17 Présence d'une marche à l'entrée du passage empêchant l'accès aux plus petits animaux. Source : Cerema.

de cette couche de terre, il est préférable de sceller des blocs dans la maçonnerie en laissant apparente une partie (4-5 cm) pour former des aspérités (19).



19 Réalisation d'une rampe maçonnée avant recouvrement avec de la terre. Source : Vinci Autoroutes/Réseau ASF.

Aménagements complémentaires

Lorsque l'ouvrage ne permet pas le maintien d'un sol naturel (dalot* fermé, buse), il est recommandé de remplir l'ouvrage d'une couche de terre de 5-10 cm. Pour plus de facilité, il est préférable de remplir chaque élément au fur et à mesure de



Mise en œuvre d'une couche de matériaux naturels. Source : Barb BEASLEY, Association of Wetland Stewards for Clayoquot and Barkley Sounds.

son installation, notamment si les ouvrages sont de petite taille. Dans le cas contraire, une fois tous les éléments en place, le remplissage risque d'être difficile dans les parties les plus éloignées des entrées.



Mise en œuvre manuelle d'une couche de terre à l'intérieur d'une buse. Source : Vinci Autoroutes/Réseau ASF.



Les passages et aménagements pour la petite faune ?

Objectif : une possibilité de franchissement tous les 300 m, en tenant compte de l'ensemble des possibilités de franchissement

- 1 Tenir compte des passages toute faune qui constituent déjà des possibilités de franchissement pour la petite faune. 
- 2 Aménager tous les ouvrages hydrauliques pour qu'ils soient franchissables par la petite faune. 
- 3 Créer ou aménager des possibilités de franchissement complémentaires au droit des enjeux petite faune les plus importants (ex. : amphibiens). 
- 4 En fonction de l'ensemble des dispositifs précédemment prévus, ajouter des passages petite faune supplémentaires ou aménager des ouvrages de rétablissement (agricole, piéton) pour que la faune dispose d'une possibilité de franchissement en moyenne tous les 300 m. Cette interdistance peut légèrement varier pour tenir compte des éléments du paysage (positionnement au droit des continuités écologiques existantes).

Recommandations particulières

..... Pour les ouvrages hydrauliques, prévoir :

- une banquette d'une largeur minimale de 50 cm sur chaque rive ;
- un tirant d'air* minimum de 0,7 m.

..... Pour l'aménagement petite faune des rétablissements agricoles ou piétonniers, prévoir des accotements enherbés de 1 à 2 m.

..... Pour les passages petite faune supplémentaires, on recommande des ouvrages d'au moins 1 m à 1,5 m de largeur sur 1 m de hauteur, voire plus, lorsque la longueur de traversée est importante (> 30 m).



*Passage petite faune.
Source : François Nowicki.*



Groupe d'espèces	Espèce	Passage toute faune				Passage petite faune						
		Exceptionnel		Remarquable		Ordinaire		Ouvrage non dédié à la faune équipé de banquettes* enherbées	Passage canopée	Tunnel amphibien (double sens)	Petit ouvrage hydraulique équipé d'une banquettes*	Ouvrage de talweg sec
Supérieur (tranchée couverte, tunnel)	Inférieur (viaduc)	Supérieur	Inférieur (viaduc)	Supérieur	Inférieur	Supérieur ou inférieur						
Ongulés	Cerf	●	● (si H > 4 m)	●	● (si H > 4 m)	○	○ (si H > 4 m)	○ (pour inférieur seulement si H > 4 m sinon x)	x	x	x	x
	Chevreuil, chamois	●	●	●	●	●	●	○	x	○	○	○
	Sanglier	●	●	●	●	●	●	○	x	○	○	○
	Ours brun	●	●	●	●	●	●	○	x	x	x	x
	Lynx	●	●	●	●	○	○	○	x	○	○	○
Carnivores	Loup	●	●	●	●	●	●	●	x	x	x	x
	Renard	●	●	●	●	●	●	●	x	●	●	●
	Chat sauvage	●	●	●	●	●	●	●	x	●	●	●
	Blaireau	●	●	●	●	●	●	●	x	●	●	●
	Loutre	○	● (Mixte hydraulique) ○ autres	○	● (Mixte hydraulique) ○ autres	○	● (Mixte hydraulique) ○ autres	○ (Inférieur mixte hydraulique) ○ Supérieur	x	○	○	○
	Martre Fouine	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●
	Autre petit mustéliné	●	●	●	●	●	●	●	x	●	●	●
	Genette	●	●	●	●	●	●	●	?	●	●	●



Lagomorphes	Lièvre	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	
	Lapin	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○
Insectivores	Hérisson	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	
	Musaraigne	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Rongeurs	Écureuil roux	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Muscardin	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Souris	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Campagnol	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Castor	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Reptiles	Serpent	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○
	Lézard	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○
	Tortue terrestre	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○
Amphibiens	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Invertébrés terrestres	Espèces d'habitats secs	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○
	Espèces d'habitats humides	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○
Chauves-souris	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○

● Solution optimale
○ Susceptible d'être utilisé en fonction des conditions locales et de la taille
○ Utilisation exceptionnelle dépendant également de la taille de l'ouvrage

? Inconnu, plus d'expérience requise
x Inapproprié

2 Les passages à faune sur les infrastructures existantes – requalification

La requalification* d'une infrastructure doit s'appuyer sur un diagnostic à plusieurs échelles (de celle du territoire à celle de l'infrastructure ou du passage à faune) pour répondre au mieux aux objectifs de restauration des continuités écologiques. Bien que nécessaire, la méthodologie de diagnostic ne saurait être uniformisée ou imposée, puisqu'elle doit répondre aux problématiques locales. Ainsi, les méthodes seront nécessairement diverses en fonction :

- des enjeux du territoire, des espèces cibles et des milieux à reconnecter, tenant compte de l'expansion d'espèces comme le cerf ;
- du type d'infrastructure ;
- de l'étendue de la zone d'étude ;
- des données disponibles ;
- des contraintes du maître d'ouvrage (notamment financières et de temps).

Cependant, il est recommandé au minimum de travailler selon deux grandes étapes :

1. Une analyse spatiale *ex-situ* à une échelle macro à l'aide des outils SIG et des documents de référence issus des politiques publiques d'aménagement du territoire (SRADDET, SRCE, ScoT...).

2. La réalisation d'une expertise écologique (espèces, milieux) à l'aide d'études de terrain qui découlent de la première étape, d'éléments de connaissance apportés par les acteurs locaux, de diagnostics d'ouvrages le cas échéant pour apprécier les possibilités de franchissement déjà existantes.

Il convient de noter qu'un diagnostic de restauration des continuités écologiques au droit d'une infrastructure existante est assez simple à mettre

en œuvre, mais demande un temps d'étude assez long qu'il est nécessaire d'anticiper. Au-delà de la réalisation de travaux sur un projet donné, le diagnostic permet une hiérarchisation des enjeux utiles pour la programmation de travaux sur le long terme.

En requalification* d'infrastructures, plusieurs typologies de travaux peuvent se présenter :

1. **L'aménagement d'ouvrages en place** ; à l'aide de techniques très légères (cas d'une banquettes* flottante ou en encorbellement*) comme de techniques très lourdes (élargissement d'un ouvrage d'art existant) ;

2. **La construction d'ouvrages neufs** à destination de la petite faune comme de la grande faune (cf. chapitres précédents) ;

3. **L'aménagement de l'infrastructure** en l'absence d'ouvrage de transparence (dispositif d'alerte, d'effarouchement ou de guidage de la faune, repositionnement des clôtures par rapport à des possibilités de passages).

Dans tous les cas de requalification* d'infrastructures, il convient de rappeler la nécessité de respecter la réglementation sur la protection de la nature (loi sur l'eau, espèces protégées, dossier d'incidence Natura 2000*...) et les enjeux de sécurité et d'accès aux équipements et ouvrages.

Des informations complémentaires sont disponibles dans le rapport technique SRCE et requalification des infrastructures, édité par le Cerema (2019).

L'aménagement **2.1** et/ou la requalification d'ouvrages en place

Dans certains cas, les ouvrages d'art existants sont correctement placés au droit d'une continuité écologique, mais leur dimensionnement ou leur configuration ne permet plus le passage de la faune ou seulement de manière aléatoire ou fragmentaire. Des solutions existent pour rendre fonctionnel ce

type d'ouvrages selon des techniques et des coûts extrêmement variables.

Si ces solutions existent, de nombreux facteurs (maîtrise des emprises, accès, réseau existant...) rendent souvent leur mise en œuvre bien plus complexe que dans le cadre d'une opération neuve.



Martre sur encorbellement. Source : Jean-François Bretaud.

FICHE
15Comment améliorer la fonctionnalité
des passages à faune existants ?

Certains passages à faune, bien positionnés au regard des continuités écologiques existantes, ne sont pas pour autant fonctionnels, compte tenu de leurs configurations (revêtement inadapté, usage détourné, manque d'entretien) ou sont sous-dimensionnés au regard de l'importance du corridor qu'ils sont censés rétablir. Dans les deux cas, des solutions d'amélioration existent.

Il convient alors de **se rapprocher des standards de réalisation proposés dans la première partie de ce document** (cf. chapitre sur les constructions neuves).

Les deux paragraphes suivants montrent ce qu'il est possible de faire en termes de requalification* de passages à faune existants.

Renforcement des plantations, gestion de la végétation, suppression des nuisances lumineuses...

Des travaux simples et la plupart du temps peu onéreux permettent d'améliorer de manière significative la fonctionnalité de ces ouvrages :

- en diversifiant les milieux, avec la mise en place d'andains*, en modelant la terre végétale, en améliorant l'aménagement végétal de l'ouvrage, notamment en favorisant le raccordement aux corridors transversaux comme longitudinaux et en plantant des espèces appétantes pour la faune. Il faudra toutefois veiller dans ce dernier cas, à ne pas favoriser la pression sur les clôtures en plaçant des fruitiers (pommes sauvages, figues, etc.) trop proches de celles-ci. Les fruits tombant côté infrastructure risquent sinon de conduire certaines espèces (sangliers) à redoubler d'efforts pour les atteindre et endommager les clôtures ;
- en gérant qualitativement la végétation déjà présente par débroussaillage ou par sélection, en équilibrant les différentes strates (herbacées à arborées). Sur les passages supérieurs toute faune, l'objectif est généralement, après intervention, de disposer d'un espace ouvert herbacé au centre de l'ouvrage,

bordé par deux corridors arbustifs longeant les parapets d'occultation. Pour les plus petits ouvrages, la priorité doit être donnée au dégagement de l'accès au passage ;

- en occultant les puits de lumière (❶) parfois présents sur les ouvrages, de manière à limiter les perturbations liées au bruit de la circulation des véhicules et éviter l'accumulation de déchets sous l'ouvrage. Cette mesure peut être adaptée si, localement, il est constaté l'intérêt de la lumière sur la végétalisation de l'ouvrage ou sur sa température (limitation de l'effet tunnel).



❶ Exemple d'un passage inférieur avec puits de lumière.
Source : Cerema.



Réhabilitation d'un passage à faune sur l'A84 (35)

Ce passage à faune de 20 m de large situé en forêt de Rennes sur l'A84 (réseau DIR Ouest) était, à l'exception d'un layon pédestre, presque en totalité envahi par les ronces et l'ajonc d'Europe (cf. ❶). Un premier suivi réalisé par piégeage photographique avait alors montré que ce passage était utilisé par un nombre très limité d'espèces (sangliers et chevreuils uniquement) et que les passages se faisaient essentiellement sur le layon pédestre.

Un premier débroussaillage de 2 m de large sur le layon a permis d'améliorer la transparence (cf. ❷). Un dernier débroussaillage plus sévère a permis de contacter les espèces à des fréquences plus régulières (au moins 1 passage tous les deux jours, toutes espèces confondues) (cf. ❸).



❶ Vue sur le passage à faune embroussaillé. Source : Cerema.



❷ Vue sur le passage partiellement débroussaillé. Source : Cerema.



❸ Vue depuis le passage débroussaillé sur 6 mètres de large. Source : Cerema.

Élargissement d'ouvrages supérieurs

Des ouvrages, de conception souvent ancienne, sous-dimensionnés (❷ page suivante) au regard des enjeux locaux peuvent faire l'objet d'élargissement par la construction d'un nouvel ouvrage parallèle et raccordé à l'ancien (il convient dans ce cas de se reporter aux règles de conception et d'aménagement des ouvrages neufs).

L'utilisation de cette technique nécessite une grande vigilance lors de la phase travaux, pour préserver

l'ouvrage en place lors de la réalisation des fondations ou la pose du tablier du nouvel ouvrage, mais aussi lors de la reprise de l'étanchéité à la jonction de l'ouvrage existant et de l'ouvrage neuf. L'aménagement global du nouveau passage toute faune est repensé avec si possible l'apport de terre végétale, des plantations ou la pose d'andains*. Il convient donc de s'assurer que les éventuelles nouvelles charges soient compatibles avec les capacités de résistance de l'ouvrage le plus ancien.



Élargissement du passage à faune de la forêt de la Lande A10 (17) ASF/Vinci Autoroutes

Dans le cadre du Paquet vert autoroutier* (2010-2012), ASF a réalisé l'élargissement du passage supérieur de la forêt de la Lande pour répondre aux déplacements des espèces et notamment de la grande faune. La pose d'un nouveau tablier de 590 m² à l'aide d'appuis en rive et en terre-plein central a été réalisée sans coupure de l'A10 (cf. illustration ③ et ④). Ces travaux ont permis de passer d'une largeur d'ouvrage de 3 m (②) (en 1981, à la création de l'autoroute) à 18,5 m actuellement (cf. illustration ⑤).



② Passage supérieur initial.
Source : ASF/Vinci Autoroutes.



③ Vue sur les piles.
Source : ASF/Vinci Autoroutes.



④ Ouvrage en cours de construction.
Source : ASF/Vinci Autoroutes.



⑤ Vue sur l'ouvrage terminé.
Source : ASF/Vinci Autoroutes.



Cerf, sanglier, chevreuil franchissant le passage. Source : FDC 17/VINCI Autoroutes - Réseau ASF.



L'opération, réalisée sur l'autoroute A10, a coûté environ 1,5 million d'euros.

FICHE
16

Comment favoriser le passage de la petite faune sur les ouvrages existants non dédiés à la faune ?

Lorsque des ouvrages non dédiés à la faune sont situés dans une zone à enjeux, la requalification* environnementale d'une infrastructure peut s'appuyer sur ces structures existantes, en modifiant leur vocation initiale pour qu'elles deviennent tout ou partie également favorables au franchissement de la faune.

La reconversion d'un ouvrage présente l'avantage considérable d'être beaucoup moins onéreuse que la construction d'un ouvrage neuf. La fonctionnalité de l'ouvrage pour la faune est toutefois dépendante du niveau de requalification* envisageable, conditionné par :

- la largeur initiale de l'ouvrage et notamment l'espace disponible, ou qui peut être rendu disponible pour la faune ;
- l'importance des nuisances anthropiques existantes (trafic, bruits, odeurs...).

Sur les ouvrages supérieurs, il est également nécessaire de vérifier :

- la capacité de l'ouvrage à supporter le poids d'une couche de terre végétale ;

- la possibilité d'installer un parapet d'occultation (résistance au vent) ;
- la prise en compte, en fonction de l'ampleur de la réhabilitation, des questions structurelles et d'étanchéité qui peuvent se poser (infiltrations d'eau dues aux racines...).

Si pour un projet neuf la création d'ouvrages mixtes faune et route n'est, sauf exception (cf. fiche n° 12) pas acceptable, dans le cadre de la requalification* d'une infrastructure, ces dispositions peuvent être assouplies, car les possibilités d'amélioration sont souvent très restreintes. Toutes les possibilités de franchissement de la faune doivent donc être étudiées. Sous certaines conditions et en particulier avec un faible trafic, l'aménagement d'ouvrages supportant une petite route revêtue peut ainsi être envisagé. Dans ce cas toutefois, il est déconseillé de favoriser les espèces de grande faune de manière à ne pas créer de situations accidentogènes, notamment sur les axes où les véhicules roulent potentiellement à vive allure. Un tel aménagement nécessite, dans tous les cas, de concilier les exigences de circulation et de sécurité routière avec le déplacement de la faune.

Aménagement de bandes enherbées pour la petite faune sur ou dans les ouvrages peu circulés

Conditions requises

L'objectif est de créer des bandes végétalisées de part et d'autre de la voie circulée (ou d'un seul côté si l'espace n'est pas suffisant).

L'aménagement de ce type d'ouvrages, même s'il est moins coûteux que la construction d'un ouvrage neuf, n'est pas une opération anodine.

Outre le respect des dispositions constructives liées à la pérennité de l'ouvrage d'art (cf. ci-avant), il convient de s'assurer de la prise en compte de quelques éléments permettant d'optimiser le fonctionnement de l'ouvrage :

- circulation limitée à 30-50 km/h sur des axes peu circulés (inférieure à 1 000 veh/j) ;
- possibilité de créer des banquettes* assez larges (1 à 2 m) avec une épaisseur de terre végétale suffisante au développement de la végétation herbacée (20 cm) (notamment sur les passages supérieurs) ;
- possibilité de raccordement des banquettes* à une continuité « naturelle » ;

- possibilité sur les passages supérieurs d'installation d'écrans d'occultation adaptés à l'ouvrage.

Mesures d'accompagnement indispensables

- mise en place d'un dispositif ralentisseur ou d'information des usagers de la route ;
- mise en place d'une charte d'entretien avec le gestionnaire de la voie.



Aménagement des trottoirs du PS 49/19 (A71) à Salbris (41) pour qu'ils soient favorables au franchissement de la petite faune. Vinci Autoroutes - Cofiroute

Mise en place de deux banquettes* enherbées maintenues par des bordures de trottoirs.

Installation de panneaux d'occultation de chaque côté de la route de 1,4 m de haut.

Mise en place de tas de branches.

Mise en place de coussins berlinois (ralentisseurs) à chaque entrée de l'ouvrage et d'une circulation alternée avec une limitation à 50 km/h définie avec la mairie locale.

La voirie et les trottoirs enherbés sont gérés par la commune. L'exploitant autoroutier a en charge les palissades, les dispositifs de sécurité et la structure de l'ouvrage.



Vue sur l'ouvrage avant et après requalification*. Source : Vinci Autoroutes - Cofiroute.

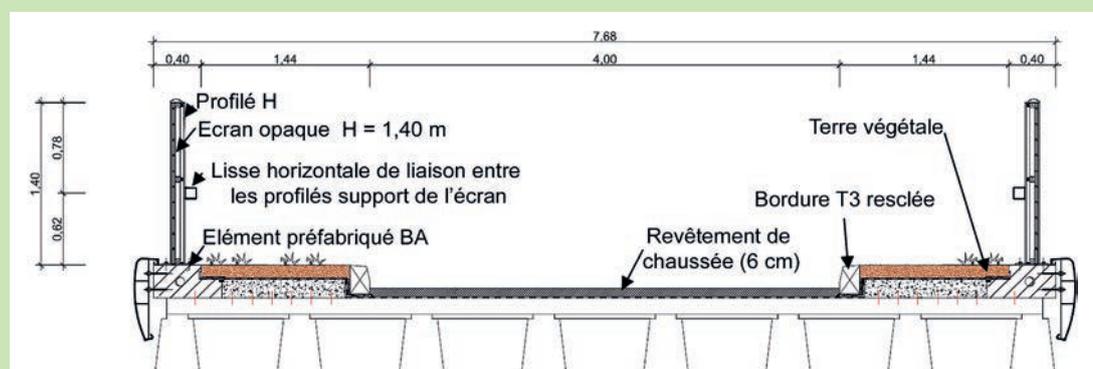


Schéma de principe de l'aménagement. Source : Vinci Autoroutes - Cofiroute.



L'opération, réalisée sur l'autoroute A10, a coûté environ 1,5 million d'euros (2018).

Transformation d'un ouvrage non dédié en passage toute faune

L'aménagement de ce type d'ouvrages nécessite de suivre les mêmes principes que pour l'aménagement de bandes enherbées pour la petite faune (cf. chapitre précédent). Compte tenu des surfaces et des largeurs disponibles, les choix d'aménagement sont cependant plus étendus pour un passage toute faune, notamment lorsqu'il s'agit d'un passage supérieur (végétation arbustive, pelouse, habitat complémentaire...).

Pour les passages supérieurs, il convient également de vérifier si les nouvelles charges imposées à la structure de l'ouvrage sont compatibles avec sa capacité portante et sa pérennité.

Si la transformation de l'ouvrage s'effectue en maintenant un usage anthropique, la vocation « toute faune » d'un tel ouvrage nécessite toutefois que cet usage se limite à des rétablissements peu circulés (cf. encart page suivante).



Aménagement d'un passage mixte forestier/toute faune sur RN184

La RN184, voie routière à 2 x 2 voies, coupe le réservoir de biodiversité* de la forêt domaniale de l'Isle-Adam (Val d'Oise - 95) identifiée par le SRCE. L'objectif de la DiRIF est de réaménager le pont existant pour en faire un passage mixte attractif pour la petite et la grande faune, tout en conservant les usages pour les activités humaines.



Vue de l'ouvrage avant travaux.
Source : Vincent Vignon, OGE.

Sur les 16 m de largeur de l'ouvrage, 11 m sont dédiés à la faune (végétalisation, andain*) et à une piste cavalière ensablée. Les 5 m restants sont réservés au trafic routier (voie en enrobé).



Vue de l'ouvrage après travaux.
Source : Vincent Vignon, OGE.

Le projet conçu par OGE (V. Vignon) a été soumis à un comité technique regroupant collectivités, associations et institutions, afin d'associer l'ensemble des parties prenantes pour tenir compte des besoins liés à chaque usage et définir les aménagements visant à les concilier.



Lézard des murailles sur l'andain dès la première saison après les travaux. Source : Vincent Vignon, OGE.



Coût de l'aménagement :
710 000 € (2016).



Conversion en passage mixte du rétablissement routier de la Bauxite Autoroute A9 (34). ASF/Vinci Autoroutes



Avant



Après

Le retour d'expériences des aménagements et des suivis faunistiques sur le réseau Vinci Autoroutes (juin 2016) montre que **ce type d'ouvrages n'est pas adapté pour la grande faune et assez peu efficace pour la moyenne faune**. Seraient en cause les nuisances visuelles et sonores importantes inhérentes à ce type d'ouvrages. Ce même suivi montre que les espèces communes, peu farouches et adaptées à l'homme fréquentent très majoritairement ces passages (hérisson, martre, lapin, ragondin). Ce type d'aménagement n'est donc pas recommandé en cas d'enjeux forts de continuités écologiques.

Création d'une banquette petite faune dans les ouvrages hydrauliques en place

Dans de nombreux cas de requalification* d'infrastructures, le rétablissement des continuités écologiques pour la petite faune passe par l'aménagement des ouvrages hydrauliques existants, même de petite taille.

Les opérations de requalification* des ouvrages hydrauliques pour la faune terrestre bénéficient notamment de la récente obligation réglementaire de restauration de la continuité piscicole sur les cours d'eau classés liste 2 et sur les cours d'eau classés liste 1, lorsque des aménagements sur ces derniers sont prévus.

Les cours d'eau classés au titre du L214-17 du Code de l'environnement*, et ce plus particulièrement en liste 2, constituent donc des opportunités de requalification* d'ouvrages hydrauliques pour le franchissement de la faune terrestre en complément de l'obligation réglementaire liée à la faune piscicole.

Dans les ouvrages hydrauliques, les aménagements proposés sont fonction de la nature de l'ouvrage (matériaux de construction), de ses dimensions et

notamment de sa section (l'aménagement ne doit pas remettre en cause ses capacités hydrauliques) ainsi que des espèces cibles pour lesquelles l'aménagement est réalisé.



Le dispositif réglementaire pour la restauration de la continuité écologique est basé sur deux listes de cours d'eau, définies par l'article L214-17 du Code de l'environnement* :

- la liste 1, destinée à préserver l'état actuel, comprend les cours d'eau (ou portions) sur lesquels tout nouvel ouvrage faisant obstacle* à la continuité écologique ne pourra plus être autorisé ni concédé ;
- la liste 2 est établie pour les cours d'eau (ou portions) pour lesquels il est nécessaire de restaurer les conditions de la continuité écologique : tout ouvrage existant devra donc avoir mis en œuvre les dispositions nécessaires (circulation piscicole et sédimentaire) dans un délai de 5 ans après la publication des listes (ce délai peut faire l'objet d'une prolongation, sous certaines conditions).

Quelles sont les solutions ?

■ Installation d'une banquette* en encorbellement*

Les cadres béton, les buses béton ainsi que les ponts maçonnés supportent en général le perçage (attention, pour les ouvrages en béton, prendre des précautions, par exemple avec un détecteur de métal, pour éviter de perforer au droit du ferrailage) pour l'insertion de chevilles (le plus souvent à scellement chimique) permettant la fixation d'équerres ou d'un autre dispositif d'accroche, d'un système de platelage en matériaux imputrescibles (polyester renforcé en fibre de verre, plastique recyclé, béton). Le bois, présente l'avantage d'être naturel.

La technique en encorbellement* présente plusieurs avantages :

- du point de vue hydraulique, la diminution de la section est souvent négligeable et le risque d'embâcles est limité par l'utilisation d'équerres sans jambe de force ;
- du point de vue réglementaire, les démarches relatives à la loi sur l'eau sont souvent limitées à une concertation/information des services chargés de la police de l'eau (sauf suggestions particulières d'accès au chantier ou de positionnement d'une base de travaux). La capacité hydraulique de l'ouvrage doit toutefois être vérifiée ;
- du point de vue financier, la banquette* en encorbellement* est plus économique qu'une banquette en béton.

Banquette* en encorbellement* constituée d'un support et d'un platelage

Support de la banquette*

a) Pour les supports du platelage, il est recommandé d'utiliser des dispositifs en acier galvanisé pour éviter la corrosion. Les équerres en inox sont à proscrire (fort risque de vol). S'il s'agit d'une buse, leur forme doit être adaptée aux parois de l'ouvrage (rayon de courbure). Selon les pratiques locales ou les risques d'embâcles dans l'ouvrage, elles peuvent être en forme d'équerre avec une jambe de force (❶) ou de « T » (❷).



❶ Support en équerre. Source : Cerema.



❷ Support en « T » avec rayon de courbure. Source : Cerema.



❸ Banquette avec platelage en béton de 40 cm de largeur sur 50 m de long et un tirant d'air de 60 cm. Coût : 6 000 € (pose en régie). RN164 (DIRO). Source : Cerema.

b) Les supports sont généralement positionnés tous les mètres. Cette fréquence est nécessaire pour éviter la déformation du matériau préconisé ci-après qui doit être fixé sur le support. Si le matériau mis en place est différent et très rigide, cette fréquence pourrait être adaptée sans négliger le nombre de reprises de fixations du platelage qui vont le sécuriser sur sa longueur. Pour plus de sécurité et pour éviter la chute du platelage en cas d'anomalie d'un support, un minimum de trois fixations par panneau est envisageable.

c) La fixation des supports en acier galvanisé est faite à l'aide d'un scellement chimique.

Des solutions simples de mise en œuvre comme les systèmes à ampoules chimiques (scellement en résine chimique à insérer dans le perçage) sont recommandées. Elles présentent les avantages suivants :

- capacité de charge élevée ;
- faible diamètre de perçage par rapport à la charge reprise ;
- évite les infiltrations d'humidité dans le support.

d) Pour des raisons évidentes de sécurité, d'efficacité et de maniabilité, l'utilisation d'un perforateur à batterie est conseillée.

Platelage de la banquette*

L'intérieur des ouvrages hydrauliques présente des caractéristiques particulières, comme une humidité

ambiante permanente et la fluctuation du niveau d'eau qui peut envoyer la banquette. Il convient donc de privilégier des matériaux imputrescibles ou faiblement putrescibles.

Différents matériaux peuvent être utilisés : béton (Ⓢ page précédente), plastique recyclé, polyester renforcé en fibre de verre (PRV), bois...

L'utilisation d'un platelage en plastique recyclé est recommandée (cf. préconisations page suivante).

Pour renforcer la structure et éviter les déformations entre les plaques, ces dernières peuvent être fixées les unes aux autres.



Platelage en plastique recyclé

- Les dimensions d'une plaque sont les suivantes : 205 cm x 105 cm, épaisseur de 2,5 cm pour un poids de 51 kg. Sans imprégnation toxique, non glissant, ce matériau se travaille comme du bois, il peut être facilement découpé et débité. Le retour d'expériences sur ce matériau indique une excellente tenue.
- Dans la plupart des ouvrages, ces plaques sont coupées en deux pour obtenir une banquette* d'un peu plus de 50 cm de large. Pour les ouvrages de petite dimension (ex. : buse DN de 1 500 mm), il est possible de découper 3 lames de 35 cm de largeur dans une plaque. Ces découpes doivent être faites en atelier pour éviter l'apport massif de copeaux de plastique dans le milieu naturel.
- La fixation du platelage en plastique sur les supports en acier galvanisé peut être faite par vissage direct ou par l'intermédiaire d'une lame en plastique (cf. illustrations ci-après).
- Pour éviter leur déformation, les lames du platelage sont liaisonnées à l'aide d'un morceau de platelage préalablement découpé ou à l'aide de platines en acier galvanisé (cf. illustrations ci-après).



Détail sur fixation et liaison du platelage. Source : Cerema.



Détail sur fixation et liaison du platelage. Source : Cerema.



Banquette en plastique recyclé de 50 cm de largeur sur 65 m de long et un tirant d'air de 70 cm. Coût : 15 000 € TTC (2013). RN137 (DIRO). Source : Cerema.



Le platelage en mélange bois/béton en plaque de 120 x 20 mm d'épaisseur est cassant et à proscrire. Source : GREGE.



Fourniture et pose d'une banquette en encorbellement* constituée d'un support et d'un platelage en :

- béton, fibro-ciment : 250 à 300 € HT/ml ;
- métal : 200 à 400 € HT/ml ;
- plastique recyclé : 150 à 250 € HT/ml ;
- polyester renforcé à la fibre de verre : 300 à 600 € HT/ml ;
- bois : 100 à 150 € HT/ml.

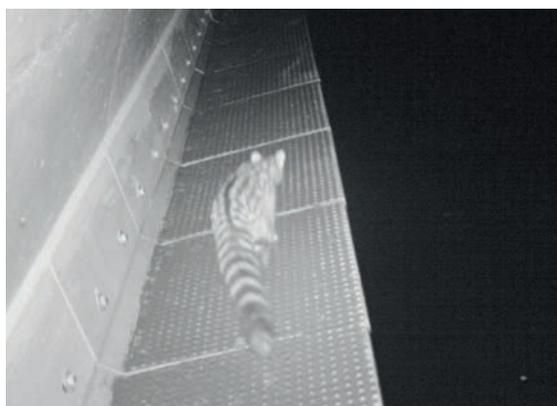
Banquette* en encorbellement* préfabriquée (sur les ouvrages en béton ou maçonnés)

Il existe des dispositifs préfabriqués (polyester renforcé en fibre de verre ④⑤, béton polymère ⑥ et ⑦) qui ont pour avantage d'être plus légers

que le béton classique et très maniables. Ces systèmes, qui sont moulés, ont également pour avantage d'être d'un seul bloc et d'associer à la fois la banquette et les supports. Ils peuvent également être équipés d'un revêtement antidérapant.



④⑤ Banquette PRV de 50 cm de largeur sur 67 m de long et un tirant d'air de 200 cm. Coût : 35 000 € TTC (2015). Autoroute A83. Source : Cerema.



⑥ Genette empruntant une banquette en béton polymère. Source : Vinci Autoroutes/Réseau ASF.



⑦ Banquette en béton polymère avec dispositif antidérapant. Source : ULMA Architectural Solutions.

■ Construction d'une banquette* béton (dans une buse métallique, un ouvrage en béton ou maçonné)

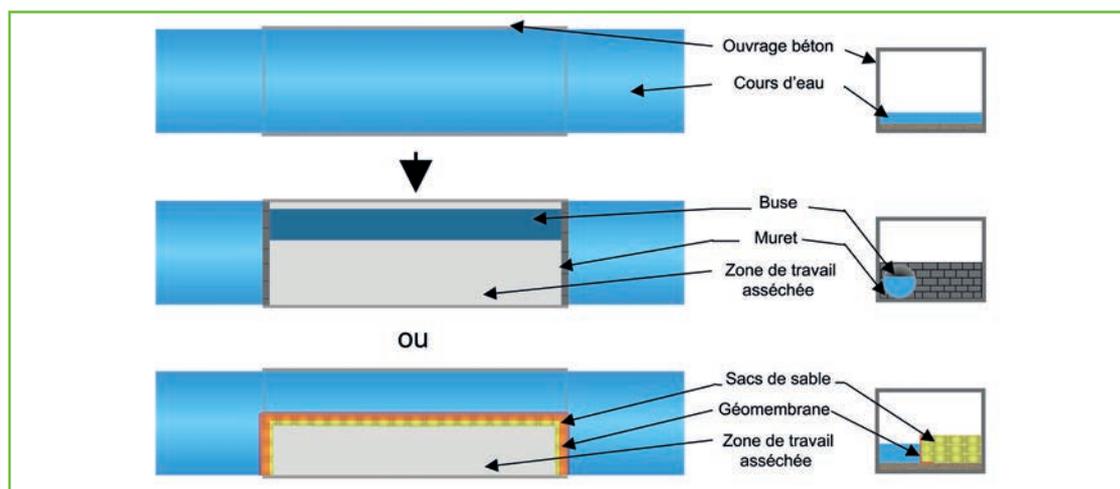
L'implantation d'une banquette en béton est possible et présente l'avantage d'être pérenne dans le temps. Elle permet notamment d'équiper les buses métalliques qui sont très répandues sur les réseaux anciens et qui ne peuvent être percées, sous peine d'aggravation de la corrosion.

Ces banquettes présentent cependant plusieurs inconvénients comme un coût plus élevé, la nécessité de réaliser des études hydrauliques fines, des obligations liées au respect de la loi sur l'eau plus importantes (en phase étude comme en phase travaux, cf. ci-après).

Il convient de mener les études nécessaires pour vérifier que les vitesses d'écoulement sont toujours compatibles avec la capacité de déplacement des espèces présentes dans le cours d'eau, le rétrécissement du lit conduisant à augmenter les vitesses dans l'ouvrage.

Les travaux nécessitent par ailleurs le plus souvent de dévier provisoirement le cours d'eau à l'intérieur du passage, afin de pouvoir travailler dans un environnement sec.

Ce dévoiement peut se faire par la mise en œuvre d'un batardeau (ex. : sacs de sable + géomembrane) ou en busant temporairement le ruisseau à l'intérieur de l'ouvrage (⑧).



⑧ Principe de dévoiement provisoire d'un cours d'eau pour effectuer des travaux à l'intérieur d'un ouvrage. Source : Cerema.

Lorsque la lame d'eau d'un ouvrage occupe la totalité du fond de celui-ci, la hauteur d'eau n'est pas toujours suffisante en période d'étiage pour maintenir la continuité écologique. En diminuant la largeur du lit dans l'ouvrage, la réalisation d'une banquette béton peut permettre de rétablir cette continuité piscicole, en augmentant la hauteur d'eau dans l'ouvrage.

La réalisation d'une banquette de type voile béton en L remplie par de la terre végétale est à proscrire, car en cas de crue du cours d'eau, les matériaux sont complètement lessivés et la banquette se vide.



Le coût est de l'ordre de 1 000 à 2 000 € HT/ml pour des banquettes* de 40 cm à 50 cm de large.



Banquette béton. RN 165 (DIRO). Buse métallique. Source : Cerema.

■ Banquette* en matériaux naturels (maçonnée ou non)

Lorsque les ouvrages sont suffisamment larges, et que les conditions hydrauliques le permettent (faible vitesse), les banquettes peuvent être totalement réalisées en matériaux naturels. Elles ont alors pour avantages de conserver à la fois un couloir de déplacement terrestre et un lit de cours d'eau naturel. Lorsque les conditions hydrauliques le nécessitent, les éléments constituant cette dernière peuvent être scellés (9).



Le coût de réalisation d'une banquette* en matériaux naturels est très variable suivant qu'il s'agit d'un simple apport de terre ou de blocs maçonnés :

- terre : de l'ordre de 150 €/ml ;
- enrochement (maçonné ou non : 350 à 750 €/ml).



9 Aménagement d'une banquette en matériaux naturels (scellés à l'intérieur) dans l'ouvrage de franchissement du ruisseau des maitres sur la RD12.

Source : Conseil départemental de Dordogne.

■ Installation d'une banquette* flottante (tous types d'ouvrages)

Cette solution consiste en l'installation d'une structure flottante à l'intérieur des ouvrages (10 + encart page suivante). Elle présente les avantages suivants :

- facilité et rapidité de mise en œuvre ;
- fluctuation en fonction du niveau d'eau permettant un raccord à la berge constant ;
- permet d'équiper des ouvrages de section réduite ;
- facilement démontable.

Ce dispositif nécessite de bien raccorder la banquette* aux berges du cours d'eau et donc de prévoir un système plus long que la seule longueur de l'ouvrage.



10 Banquette flottante. Source : Pascal Fournier, GREGE.



Aménagement d'une banquette* flottante de 50 cm :
150 à 250 € HT/ml.



Le Ponton à Vison & Loutre, un passage à faune flottant pour les ouvrages pour lesquels les encorbellements* sont difficilement envisageables

Développé par le GREGE depuis 2009, le Ponton à Vison & Loutre permet de restaurer des corridors de déplacement à l'intérieur des ouvrages hydrauliques pour une circulation sécurisée des mammifères semi-aquatiques, tout en assurant une circulation au plus près de l'eau, y compris jusqu'aux crues les plus hautes.

De par sa flottabilité, ce dispositif présente une incidence hydraulique minimale et s'adapte parfaitement aux cours d'eau à fort marnage hydraulique. Son système d'ancrage permet une installation dans tous les types d'ouvrages, même ceux ne supportant aucune fixation intérieure.

Sa conception lui confère une mise en place simple et rapide, même dans des ouvrages très bas, sans requérir d'engin lourd ni d'installation de chantier. Son intérêt principal repose sur une restauration de continuité dans des ouvrages difficiles à équiper avec d'autres solutions simples.

Sa mise en place consiste en un assemblage d'éléments légers, une fixation adaptée aux extrémités de l'ouvrage lui permettant un mouvement vertical, une épaisseur de 70 mm facilement accessible depuis l'eau et un raccordement jusque **dans** la berge pour assurer une continuité du dispositif à l'étiage ou en crue, et même en cas de marée pour les ouvrages qui y seraient soumis.

Testé *in situ* de 2009 à 2014, puis déployé, à ce jour, sur 15 ouvrages répartis sur l'ouest du territoire, de la Mayenne aux Landes, ce dispositif fait l'objet de suivis réguliers, à l'aide de capteurs d'empreintes ou de pièges photographiques.

Les données actuelles démontrent sa fonctionnalité pour les mammifères semi-aquatiques (loutre d'Europe, vison, campagnol amphibie...) mais également pour d'autres mammifères (genette, fouine, belette, renard...), même sur des linéaires de plus de 50 m et ou dans une buse de 1 200 mm.

La nouvelle génération est désormais proposée en polypropylène pour accroître la durabilité, avec une tringlerie inoxydable garantissant la tenue linéaire.



Dispositif flottant. Source : GREGE.



Raccordement du Ponton à la berge. Source : GREGE.



Loutre d'Europe sur le Ponton prototype. Source : GREGE.



Renard sur un Ponton. Source : GREGE.



Fouine et belette sur le capteur d'empreintes à encre utilisé pour évaluer la fréquentation du Ponton. Source : GREGE.



De manière à prévenir l'arrachement de la banquette* flottante (1), cette solution est déconseillée sur les cours d'eau à forts débits ou dans les ouvrages dans lesquels le cours d'eau peut passer d'un régime lent à un régime torrentiel (ex. : ouvrage en béton lisse, en pente et de section plus petite que le cours d'eau). Elle est également déconseillée dans les cours d'eau connus pour charrier de nombreux embâcles.

Règles d'implantation et dimensions

Pour un fonctionnement optimum, le dimensionnement de la banquette* doit autant que possible respecter les règles de construction des ouvrages neufs. L'objectif initial visera ainsi :

- le calage d'une banquette au niveau des berges naturelles du cours d'eau correspondant à une cote légèrement supérieure au débit de retour deux ans Q2 (ou Q3) pour les cours d'eau naturels ;
- un tirant d'air* de 70 cm au-dessus de la banquette ;
- une banquette de 50 cm de large ;
- une résistance suffisante pour permettre le passage de l'homme (curieux, entretien...).

Toutefois, dans le cadre de requalifications* d'infrastructures existantes, il est souvent nécessaire de composer avec les caractéristiques des ouvrages en place. Le type de banquette, sa largeur et le tirant d'air* doivent être adaptés à chaque configuration d'ouvrage.

Lorsque la situation l'exige, il est ainsi possible de déroger à la règle et de privilégier la mise en place de l'aménagement, même si les dimensions habituellement recommandées ne sont pas respectées.

Dans ce cas, il faudra toutefois valider cette dérogation par un écologue spécialisé dans la question (largeur pouvant être réduite à 30 cm pour la loutre et le vison d'Europe et tirant d'air acceptable proche de 50 cm).

La possibilité d'aménager d'une banquette et le choix du type de dispositifs sont notamment déterminés par :

- **la capacité hydraulique de l'ouvrage**

L'aménagement d'une banquette ne doit pas impacter notablement la ligne d'eau amont (augmentation de la ligne de crue), en particulier si des enjeux sont



1 Exemple d'un dispositif flottant expérimental installé dans une buse de 85 m emporté par le courant, suite à la rupture de l'ancrage sur la tête de buse. Source : Cerema.

présents (habitations, routes...). À ce titre, l'aménagement d'une banquette en encorbellement* affecte moins le gabarit de l'ouvrage qu'une banquette pleine et a donc moins d'effet sur l'écoulement amont. Une étude hydraulique peut parfois s'avérer nécessaire pour s'en assurer.

L'étude hydraulique permet également de visualiser la hauteur d'eau dans l'ouvrage en fonction des débits et ainsi de caler le niveau de la banquette en tenant compte à la fois du tirant d'air* minimum de référence et du niveau de submersion potentiel.

Lorsqu'aucune cote n'est connue et en l'absence d'étude spécifique, la lecture des laisses de crues sur l'ouvrage donne de bonnes indications sur les niveaux d'eau récurrents les plus hauts. Cette hauteur doit également être cohérente avec le raccordement aux berges.

- **la capacité de franchissement piscicole**

En diminuant la capacité hydraulique d'un ouvrage, l'aménagement d'une banquette peut s'accompagner d'une augmentation de la vitesse d'écoulement notamment lorsque la banquette réduit la largeur du lit (ex. : banquettes pleines). Il convient donc de vérifier que cette vitesse de l'eau reste compatible avec la capacité de nage et donc de franchissement des espèces piscicoles présentes. Il est couramment admis à ce niveau qu'environ 80 % du temps (généralement correspondant à une gamme de débits comprise entre QMNA5 et 2 à 2,5 X Module) les espèces présentes doivent pouvoir franchir l'ouvrage (cf. *Note d'information N° 96 : Petits ouvrages hydrauliques et continuités écologiques. Cas de la faune piscicole*. SETRA, 2013).

Même si cette réglementation vaut pour les banquettes* en encorbellement* ou pleines, lorsque l'accroissement des vitesses est trop élevé, le choix d'une banquette en encorbellement est généralement privilégié, car les incidences sur les écoulements sont moindres.

Des aménagements complémentaires dans le lit du cours d'eau (déflecteurs, barrettes, enrochements...) peuvent également accompagner l'aménagement pour limiter les vitesses dans l'ouvrage ou créer des zones de repos qui permettent aux poissons de franchir le passage.

Le rétrécissement du lit par l'aménagement d'une banquette peut également avoir des effets bénéfiques sur la capacité de franchissement du cours d'eau pour les poissons à certaines périodes. C'est le cas lorsque la hauteur d'eau à l'étiage est trop faible dans l'ouvrage pour que le poisson puisse franchir le passage. Dans ce cas, le rétrécissement du lit permet de rehausser la hauteur d'eau dans l'ouvrage.

- **la présence d'espèces cibles**

Pour les espèces sensibles (loutre, vison, castor), la cote de la banquette est si possible portée à la cote du débit décennal **Q10**, lorsqu'elle est connue et lorsque le tirant d'air* reste suffisant entre l'intrados* de l'ouvrage et la banquette (> 50 cm).

Le respect de cette préconisation reste toutefois tributaire des caractéristiques de l'ouvrage en place et des abords (il est parfois impossible de

positionner la banquette au-dessus de Q2). Il convient en effet de s'adapter au site, l'objectif étant de favoriser le passage notamment de la loutre et du castor, à pied sec, dans l'ouvrage et sur les abords, alors même que le régime hydraulique de l'ouvrage est trop rapide pour que ces espèces puissent franchir l'infrastructure dans le cours d'eau. Bien que très bonnes nageuses, ces espèces sont en recherche permanente d'économie d'énergie et préfèrent emprunter un passage à « pied sec » plutôt qu'un ouvrage à l'intérieur duquel le courant contre lequel il faut lutter est trop important.

Lorsque l'ouvrage est suffisamment large, il est conseillé d'équiper les deux rives. Dans le cas d'un ouvrage de plus petite dimension, le **choix de la rive d'implantation** de la banquette, ainsi que le **traitement de son raccordement** à la berge sont primordiaux pour le bon fonctionnement du dispositif (12). L'implantation en rive droite ou en rive gauche peut dépendre : de la sinuosité du cours d'eau, du degré de naturalité des abords de l'ouvrage, de la fréquentation humaine, de l'implantation d'éventuels grillages et des suggestions d'entretien ultérieur. **Le raccordement à la berge doit se faire dans la continuité.**

Ces deux éléments devront être décidés en concertation avec le gestionnaire et un naturaliste expérimenté.

Dans certains contextes, la mise en place d'une lisse latérale en bois fixée sur la banquette permet d'éviter la chute des espèces susceptibles de se noyer dans le cours d'eau (hérissons par exemple) (13).



12 Exemple de raccordement à la berge. Source : Cerema.



13 Vue sur une lisse en bois fixée sur une banquette en encorbellement. PNR Marais Poitevin. Source : Cerema.

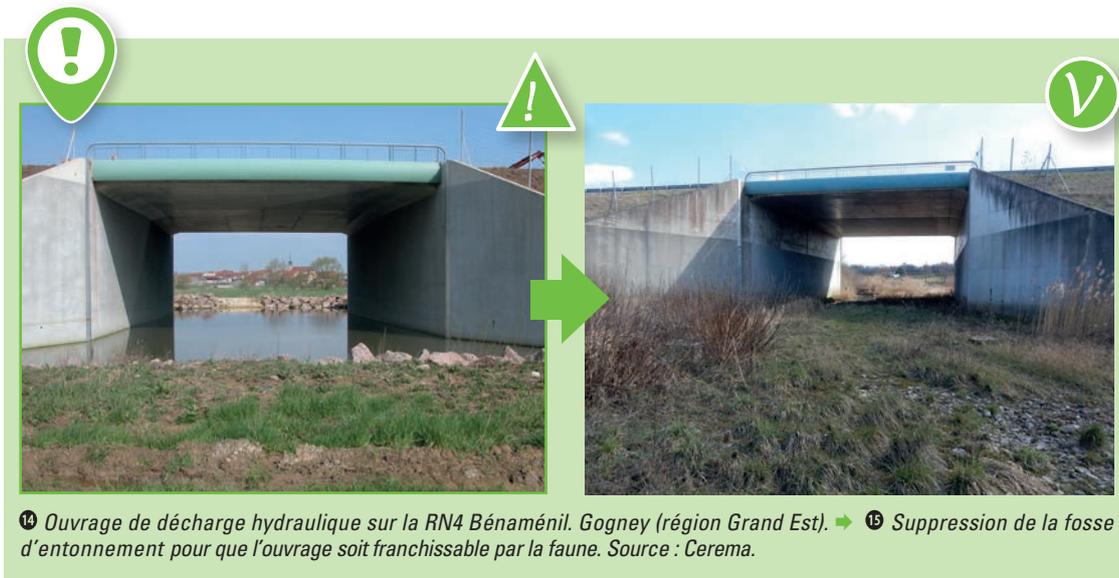
Rétablissement de la continuité dans les ouvrages de décharge hydraulique équipés d'une fosse en eau

Certains ouvrages de décharge hydraulique sont susceptibles de constituer des passages pour la faune. Il arrive cependant que ces ouvrages aient été conçus avec des fosses qui, lorsqu'elles se situent dans des fonds de vallées où la nappe affleure, se remplissent fréquemment d'eau (14). Elles ne sont alors plus franchissables par la faune.

Pour rétablir la perméabilité de l'ouvrage à la faune terrestre, il est préconisé de combler la partie

en eau (qui ne participe pas à la capacité hydraulique de l'ouvrage du fait qu'elle soit remplie) (15). Il faut toutefois veiller à maintenir une pente amont-aval suffisante pour maintenir la capacité hydraulique de l'ouvrage.

Attention également à ce que la fosse n'ait pas été colonisée par des espèces nécessitant une prise en compte spécifique (ex. : amphibiens protégés). La mise en place d'une banquette* latérale peut également solutionner la discontinuité.



2.2 Construction d'ouvrages neufs sur une infrastructure existante



Chevreuil, A7, ouvrage du GrandBoeuf. Source : © Photothèque VINCI Autoroutes – Emmanuel Rondeau.

FICHE
17

Où et comment construire un passage toute faune sur une infrastructure existante ?

Dans le cas d'une construction d'un passage neuf pour la requalification* d'une infrastructure existante, les prescriptions de conception et d'aménagement des abords sont identiques à celles données dans la première partie du guide.

Les coûts sont variables selon la largeur des ouvrages, leurs caractéristiques et les contextes locaux.

En dehors des contraintes techniques, les principales difficultés de constructions sont liées :

- au trafic sur la voie existante qui nécessite des interruptions de circulation ou un basculement de

chaussée plus ou moins long, en fonction des caractéristiques constructives de l'ouvrage ;

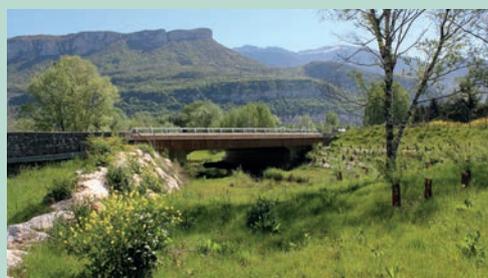
- à l'accès au chantier qui parfois doit se faire depuis l'extérieur de l'infrastructure dont le maître d'ouvrage n'a généralement pas la maîtrise foncière.

Au-delà des contraintes techniques, cette solution se heurte très souvent aux contraintes économiques qui rendent difficile ce type de construction ainsi qu'aux oppositions locales qui estiment ces investissements non prioritaires (cf. fiche n° 4, « S'assurer d'une bonne acceptation sociale »).



Création des passages inférieurs de la RD 121a et 1085 Conseil départemental de l'Isère

La continuité écologique entre les massifs de la Chartreuse et du Vercors est altérée par de nombreuses infrastructures. Dans le cadre de son projet « couloir de vie », le Conseil départemental de l'Isère a mené différentes actions pour restaurer cette continuité. Parmi celles visant à rétablir le corridor écologique de la cluse de Voreppe, le Conseil départemental a réalisé deux ouvrages inférieurs sur les communes de Voreppe et de Saint-Jean-de-Moirans.



*Passage inférieur de la RD121a.
Source : Conseil départemental de l'Isère.*



Création du passage supérieur spécifique de la Buisse sur une autoroute en léger remblai

Les remblais d'accès du passage de La Buisse ont été conçus de manière à :

- réduire l'emprise, notamment pour éviter d'empiéter sur une zone inondable et pour préserver une partie de haie existante ;
- créer une rampe d'accès transversale qui commence à 25 % puis qui s'adoucit à l'approche de l'ouvrage ;
- créer longitudinalement (dans la continuité des cheminements qui longent habituellement les clôtures), des rampes à pente modérée (maxi 15 %).



*Passage de la Buisse sur l'autoroute A48.
Source : R. Courtaud - AREA.*



Passage supérieur spécifique du Col du Grand Bœuf sur une infrastructure en déblai. ASF/Vinci Autoroutes

Situé sur un carrefour biogéographique reliant les Alpes et l'Ardèche, le Col du Grand Bœuf est traversé par l'autoroute A7. Depuis sa construction en 1965, cette autoroute constituait une barrière physique au déplacement de la faune. Suite à une étude d'écologie du paysage qui a montré l'importance de ce lieu comme carrefour régional où les enjeux pour le déplacement de la faune étaient importants, il a été proposé de réaliser un passage à faune pour rétablir les continuités écologiques interrompues par l'infrastructure.

En 2011, un ouvrage de 15 m de large a ainsi été construit au-dessus de l'autoroute existante.

L'ouvrage se compose d'une charpente métallique posée sur deux appuis en béton aux extrémités. La charpente longue de 36 m a été posée avec une grue et n'a nécessité une interruption de trafic que d'une seule nuit.



Esquisse de l'écopont* (photomontage) du Col du Grand Bœuf sur l'autoroute A7. Source : Vinci Autoroutes/réseau ASF.



Passage en phase travaux. Source : Vinci Autoroutes/réseau ASF.



Passage finalisé. Source : Vinci Autoroutes/réseau ASF.



Le coût indiqué de l'opération est d'environ 2,6 millions d'euros (en 2011).



Le coût de construction est très variable suivant les contextes, les types d'ouvrages, les fondations... Les données en notre possession (provenant essentiellement des concessionnaires) montrent un prix d'ouvrage variant de 2 500 à 5 700 €/m². Ce prix ne comprend toutefois que le coût de construction. Or, dans le cadre d'un programme de requalification*, il faut également prendre en compte de nombreux autres postes (mise aux normes autoroutières, études, procédure, installation chantier...) qui peuvent nettement alourdir le montant total d'une opération (jusqu'à plusieurs millions d'euros).

FICHE
18

Comment créer un passage petite faune sur une infrastructure existante ?

Par fonçage ou microtunnelage

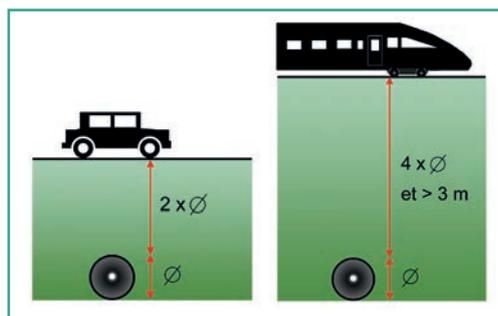
La requalification* d'un réseau et notamment la création d'un nouveau passage pour la faune doit, dans la plupart des cas, s'adapter aux exigences d'exploitation et d'obligation de continuité de service. Il est donc parfois impossible de procéder à l'ouverture de l'infrastructure par les méthodes classiques de terrassement de tranchées pour créer un ouvrage. Les techniques de travaux sans tranchée peuvent alors être utilisées : le fonçage (entre 300 et 800 mm) ou le microtunnelage (entre 500 et 2 500 mm).

Ces techniques consistent à mettre en place dans le remblai de l'infrastructure un tuyau (en métal, en béton ou en PRV) d'un diamètre compris entre 300 et 2 500 mm et à extraire les déblais au fur et à mesure.

Lorsqu'un tube est enfoncé, le suivant est mis en place et emboîté dans le précédent. L'opération se poursuit jusqu'à ce que l'outil de forage débouche de l'autre côté du remblai.

La réalisation des travaux nécessite une grande précision dans son exécution pour ne pas mettre en péril l'infrastructure en exploitation. Les outils de forage sont guidés informatiquement par laser depuis la surface. Les corrections de tracé sont établies immédiatement et en fonction de l'avancement du forage.

Il est admis que la réalisation d'un fonçage ou d'un microtunnelage sur une infrastructure routière sous exploitation nécessite de disposer d'une épaisseur de remblai au-dessus du futur ouvrage équivalente à deux fois la hauteur de l'ouvrage (❶). Par ailleurs, pour une voie ferrée, l'épaisseur de couverture à conserver sous les traverses est d'au moins quatre fois le diamètre, sans être inférieure à 3 m.



❶ Schéma représentant la hauteur de remblai à maintenir au-dessus de l'ouvrage en fonction du type d'infrastructure. Source : Cerema.

Pour des questions de sécurité et de fluidité du trafic, l'accès au chantier est généralement réalisé depuis l'extérieur des emprises.

Pour des travaux sous une voie ferrée, des précautions complémentaires doivent être prises (entreprises agréées, ralentissement temporaire des circulations et suivi permanent de la géométrie des voies ferrées pendant les travaux). Les études sont systématiquement réalisées par SNCF Réseau, car la sécurité des circulations ferroviaires est en jeu.

L'atelier de fonçage ou de microtunnelage nécessite une zone de travaux assez importante (500 m² au minimum pour le fonçage, au moins 1 000 m² pour le microtunnelage) pour permettre l'entreposage des buses, du groupe électrogène, du dispositif de poussée, du séparateur de boue et de déblais et des installations de chantier.

Toutes les précautions doivent être prises en phase chantier pour éviter les incidences sur le milieu naturel alentour. Les plateformes de travail, les pistes d'accès (cf. photo page suivante), les zones de stockage sont généralement couvertes d'un géotextile lui-même recouvert de matériaux, afin de faciliter l'enlèvement et la remise en état du site.



*Piste d'accès chantier.
Source : ASF/Réseau Vinci Autoroutes.*

Pour limiter les intrusions de la petite faune, comme les amphibiens, la zone de travail est clôturée (clôture de 1 m enterrée) avec un grillage maille fine, une bâche ou un grillage à plus grandes mailles sur lequel on fait remonter le géotextile (l'avantage dans ce dernier cas est de ne pas avoir à enterrer la clôture).



*Passage petite faune de Velaux Autoroute A7 :
vue sur le dispositif de fonçage.
Source : Vinci Autoroutes/Réseau ASF.*

La durée de réalisation du fonçage ou du micro-tunnelage est variable (plusieurs semaines), elle comprend la réalisation des chemins d'accès, la création des fosses de départ et d'arrivée, la réalisation du fonçage ou du microtunnelage proprement dits, les travaux connexes (grillage, têtes de buse), ainsi que la remise en état du site.



Les quelques retours d'expérience indiquent des coûts de réalisation d'un fonçage sous autoroute de l'ordre de 9 000 à 10 000 € HT/ml.



*Passage petite faune de Velaux Autoroute A7 :
vue sur le dispositif finalisé côté plateforme de poussage.
Source : Vinci Autoroutes/Réseau ASF.*



Mise en place d'un microtunnelage sur une voie ferroviaire. Source : Christian Chéreau - SNCF Réseau.



Par ouverture de la voie

Si la mise en place d'un ouvrage petite faune peut être réalisée selon différents modes de construction, la technique à priori la plus logique consiste, en l'absence de contraintes, à creuser une tranchée dans l'infrastructure existante pour venir y implanter un dalot* ou une buse béton.

Cette technique est la seule utilisable lorsque la hauteur du remblai de la route est insuffisante et empêche toute opération de fonçage.

Il convient toutefois ici d'être vigilant :

- aux contraintes d'exploitation : l'ouverture de la tranchée se fait par demi-chaussée. Ce mode constructif est donc à réserver aux infrastructures peu circulées, ce qui n'engendre pas de coûts prohibitifs liés à la protection des travaux sous circulation ;
- à la présence de réseaux enterrés.

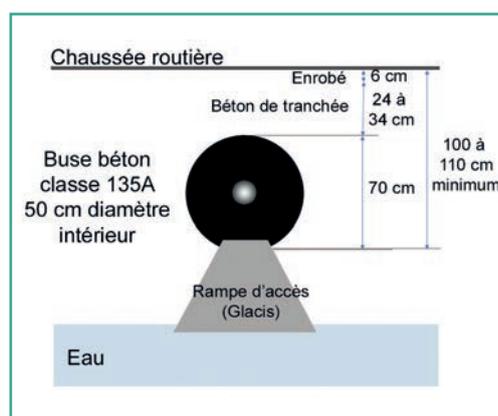
Quelques règles d'implantation sont également à respecter :

- positionnement altimétrique au plus haut (pour éviter l'inondation trop fréquente du passage) ;
- hauteur et largeur intérieures de l'ouvrage : si possible 1 m, sans être inférieur à 50 cm ;
- mise en place d'une barrière physique au droit de l'ouvrage (grillage) pour inciter les espèces à emprunter l'ouvrage ;
- glacis* d'accès au passage (facilité d'entretien).

Les ouvrages doivent être posés sur un lit de sable. Le remblai de couverture doit présenter une épaisseur suffisante qui est liée au type et à la catégorie d'infrastructure (ex. : au moins 0,8 fois le diamètre de la buse sans être inférieure à 1 m pour les voies ferroviaires). Les différentes épaisseurs (lit de sable et remblai de couverture) et les caractéristiques des matériaux sont déterminées au cours des études par le maître d'ouvrage.



Installation de buses sèches dédiées à la loutre.
 Source : François Varenne.



Principe d'implantation d'une buse sous chaussée.
 Source : PNR du Marais Poitevin. François Varenne - LPO 85.



Le coût d'installation d'un ouvrage petite faune par ouverture de chaussée varie de 750 à 1 150 € HT/ml pour les tunnels en béton à 150 à 250 €/ml pour les ouvrages en PVC. Il faut toutefois rappeler que ces aménagements sont plutôt à réserver aux infrastructures faiblement circulées, en particulier pour des raisons de gestion du trafic.



Installation de buses sèches dédiées à la loutre PNR du Marais poitevin

Dans le Marais poitevin, des « passages busés à sec » (16 aménagements) ont été réalisés au droit de plusieurs points de mortalité routière pour la loutre. Ces points de mortalité qui correspondent à des points d'intersection entre la route et le réseau hydrographique ou des zones humides, peuvent être liés :

- soit à l'absence d'ouvrage sous la route ;
- soit à la présence d'un passage qui n'est pas équipé de banquette* terrestre accessible à la faune en période de haut débit (vitesse du courant élevée dans les ouvrages). Cette situation conduit alors les loutres à passer sur la route plutôt qu'à emprunter l'ouvrage.

Le traitement de certains de ces points de conflits a été effectué par ouverture de chaussée et mise en place de buses en béton armé de classe 135A de diamètre 500 mm intérieur (sur les voies ne dépassant pas 15 m linéaires). Cette catégorie d'ouvrages a été retenue, car ces équipements sont suffisamment résistants pour accepter une faible hauteur de remblaiement tout en répondant aux normes de voirie.

La hauteur minimale nécessaire entre la génératrice inférieure et le dessus de la chaussée est de 100 à 110 cm.

Le coût des aménagements effectués varie entre 11 000 et 17 800 € TTC pour des traversées d'une douzaine de mètres linéaires.

Dans la plupart des cas, chaque extrémité du passage est équipée d'un grillage (maille 5 x 5 cm, hauteur 1,2 m à 1,5 m) ou d'une rambarde en bois dont le but est de canaliser l'animal vers l'entrée de l'ouvrage. Sauf exception, la pose de ce dispositif concerne au maximum quelques mètres (5 à 10 m) de part et d'autre de l'axe du passage. Cette longueur est suffisante pour diriger les loutres afin de garantir une utilisation régulière.



Ouverture de la chaussée pour la pose des éléments de l'ouvrage.
Source : François Varenne.

Ouvrage finalisé avec dispositif de grillage pour éviter que les loutres ne remontent sur la chaussée.
Source : François Varenne.



Construction d'un passage petite faune dans les remblais autoroutiers de l'A89 reliant Clermont-Ferrand et Brive-la-Gaillarde dans le cadre du programme biodiversité* du Plan de relance autoroutier.

Département de la Corrèze (19). Cognac TP/Eurovia

Contrairement à la plupart des nouveaux passages petite faune créés dans le cadre du programme, cet ouvrage a été réalisé par ouverture de la chaussée, en raison du manque de couverture sur l'ouvrage et de problèmes géotechniques.

Les travaux ont duré 4 mois et ont nécessité 2 mois de préparation. Ils ont été effectués par demi-chaussée avec basculement de la circulation.

L'ouvrage, d'une longueur de l'ordre de 40 m, est constitué d'éléments cadres préfabriqués 1 200 x 1 200. Outre la pose des éléments, les travaux ont nécessité : l'ouverture proprement dite de la chaussée, le blindage de la tranchée, une reprise des enrobés, la pose de têtes d'ouvrage préfabriquées, la réalisation de rampes bétonnées, des plantations, la pose de clôtures sur près de 600 m linéaires et la remise en état du site.



Ouverture de la chaussée et blindage de la tranchée.



Mise en œuvre des éléments de l'ouvrage.
Source : TEC INFRA/Bureau d'études
VRD & Maitrise d'œuvre.



Reprise de l'enrobé. Source : Cerema.



Ouvrage finalisé avant la pose de la clôture.

Par installation d'un passage canopée

Dans certains cas particuliers où des espèces grimpeuses à enjeux sont identifiées (particulièrement en outre-mer, mais cela peut aussi concerner l'écureuil roux et les gliridés* comme le muscardin en France métropolitaine), le corridor par canopée peut s'avérer une solution intéressante.

La première partie du guide (chapitre 3, « Aménagement de passages spécifiques petite faune ») propose pour les travaux neufs la mise en place de portiques fixés au-dessus de la voie.

En requalification*, la technique habituellement utilisée est l'installation en tension d'une corde, d'un tressage de cordes ou d'un filin métallique entre deux arbres porteurs, ces arbres devant être suffisamment gros et stables pour assurer la solidité et la pérennité de l'ouvrage. Dans le cas d'arbres de faible diamètre ne pouvant assurer la bonne tenue du dispositif, une solution alternative consiste en l'implantation de part et d'autre de la chaussée et à mi-distance entre cette dernière et la lisière, de poteaux de 6 à 7 m (bois, métal) entre lesquels est tendue une corde, une échelle de cordes ou un filin métallique. Les publications récentes (Goosem et al. 2005, VicRoads 2012, Yokochi & Bencini 2015) indiquent que les poteaux doivent respecter cette hauteur minimale de 6 à 7 m, notamment pour ne pas constituer de gêne vis-à-vis du trafic routier et permettre d'atteindre les strates les plus basses de la canopée.

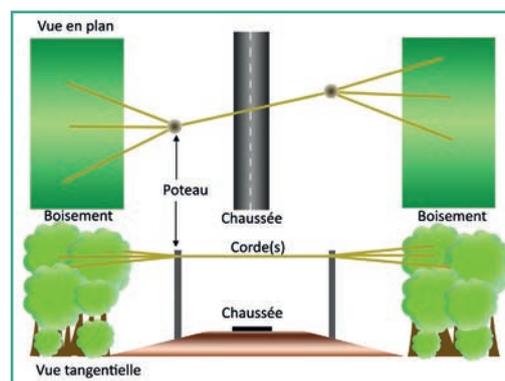


Corridor équipé d'un pont de singe pour rétablir la liaison en canopée (RN2 - Guyane). Source : Cerema.

La fondation des poteaux doit être adaptée pour assurer leur stabilité, compte tenu de la présence éventuelle d'eau susceptible de dégrader le pied des poteaux, partie la plus sensible. Si nécessaire, un haubannage des poteaux peut être envisagé, les haubans pouvant être ancrés au sol, à la lisière des boisements.

Un réseau de cordes ou de filins doit relier la canopée aux poteaux ②. Cette disposition permet :

- d'assurer plusieurs points d'ancrages de la corde ou des filins pour une meilleure solidité du dispositif ;
- de drainer une largeur plus importante du corridor forestier (effet entonnoir).



② Schéma de principe d'un corridor par canopée. Source : Cerema.



Sur les routes bidirectionnelles, les dispositifs utilisant des cordages coûtent de l'ordre de 2 000 à 3 000 € HT.



Corridor équipé d'un pont de singe pour rétablir la liaison en canopée. Source : Julien Soret - Métropole du Grand Nancy.

Autres aménagements 2.3

D'autres types d'aménagements, parfois complémentaires des ouvrages forcés ou terrassés, sont mis en place selon des besoins de sécurité routière ou selon les caractéristiques de déplacement des différentes espèces qui constituent les enjeux des secteurs aménagés. Plusieurs types de dispositifs peuvent être implantés pour limiter les risques d'accident, empêcher l'accès de la faune aux infrastructures ou servir d'ouvrages de collecte pour guider les animaux vers un passage spécifique correctement dimensionné. Il convient de préciser que ces dispositifs

anticollisions sont pour certaines espèces à enjeux (comme le vison d'Europe ou la loutre) ou dans certains franchissements, la base première de la requalification*, en sécurisant les déplacements des individus. Parmi ces dispositifs, on peut notamment citer : les dispositifs avertisseurs, les grilles canadiennes, les glissières motos ou les palissades.

Concernant les chiroptères*, il convient de se reporter au guide méthodologique *Chiroptères et infrastructures de transports* - Cerema 2016.



Exemple de dispositif d'aide au franchissement pour les chauves-souris

Les chauves-souris sont des mammifères volants dont une partie des espèces suit les structures du paysage pour se déplacer. L'ensemble des structures utilisées par les espèces forme ainsi ce que l'on appelle « les routes de vol ». Lorsque l'infrastructure interrompt une route de vol, la suppression de la continuité paysagère peut alors constituer une véritable barrière physique pour certaines espèces et ainsi provoquer une diminution de leur domaine d'activités. Certaines espèces moins sensibles continuent toutefois à franchir l'infrastructure malgré la coupure. Dans ce cas, le principal risque est que certains individus redescendent à hauteur du flux de véhicules et se fassent percuter.

Pour diminuer ces risques, des mesures d'atténuation peuvent être envisagées. L'une d'elles consiste à rétablir une structure de franchissement sur laquelle les chauves-souris vont pouvoir s'appuyer pour franchir l'infrastructure. Il peut s'agir d'un ouvrage faune habituel également utilisable par la faune terrestre, mais il existe également des ouvrages spécifiques aux chiroptères*. Ce sont des dispositifs généralement de type portiques qui sont inaccessibles à la faune terrestre et qui n'ont d'autre objectif que de constituer une structure d'appui suffisamment haute au-dessus de l'infrastructure pour que les chauves-souris poursuivent leur déplacement tout en maintenant une hauteur de vol suffisante pour éviter les collisions.

Les suivis réalisés par Naturalia avant et après la mise en place d'un portique installé sur l'autoroute A83 (réseau Vinci Autoroutes/ASF) ont ainsi montré que l'ouvrage avait permis d'augmenter significativement le nombre de franchissements de chauves-souris au-dessus de l'autoroute (Claireau et al. 2019).



Installation du portique.
Source : Vinci Autoroutes/Réseau ASF.

FICHE
19

Quels sont les dispositifs avertisseurs (faune ou véhicules) permettant de limiter les collisions ?

Pour réduire les risques d'accidents entre la faune sauvage et les véhicules, il existe de nombreux dispositifs avertisseurs dont l'objectif est d'alerter, en fonction des situations,

- la faune : pour la dissuader de traverser ou pour l'alerter d'un danger potentiel ou en approche ;
- les automobilistes : pour solliciter leur vigilance et les inciter à adapter leur vitesse.

L'efficacité de ces dispositifs est très variable mais, pour la plupart, souvent limitée.

Surfaces réfléchissantes

Ces systèmes, le plus souvent fixés à des poteaux en bordure d'infrastructure, ont pour principe de réfléchir la lumière des phares au passage des véhicules et de la transformer en « barrière lumineuse » supposée effaroucher l'animal. Ces dispositifs ont été disponibles dans de nombreux types et formes pendant des décennies et leur principe de fonctionnement commun est de refléter les phares des voitures en approche dans la bordure adjacente pour empêcher les animaux à proximité d'entrer ou de traverser la route. Aujourd'hui, la plupart des réflecteurs sont conçus pour modifier la couleur de la lumière ou pour clignoter ou scintiller.

Si les résultats des nombreuses études d'efficacité montrent des résultats très variables, il semble toutefois qu'aucune étude de long terme n'ait montré une réduction durable des collisions liée à de tels dispositifs. Il semble que la principale raison soit l'accoutumance des animaux à ces stimuli visuels récurrents. Les effets positifs parfois constatés à court terme peuvent être liés à la vigilance accrue du conducteur du véhicule, stimulée par le réflecteur,

L'accoutumance aux stimuli en est souvent l'une des principales raisons. Certains dispositifs complexes nécessitent par ailleurs une maintenance régulière qui lorsqu'elle est négligée entraîne une perte d'efficacité. Il faut donc veiller à retenir et développer des dispositifs qui nécessitent le moins d'entretien possible.

Ces dispositifs peuvent prendre plusieurs formes (visuelle et/ou sonore).

qui limiterait temporairement les accidents, voire à des facteurs autres qui n'ont pas été pris en compte tels que les fluctuations des populations, la diminution du trafic, un déplacement des points de collision sur d'autres sections.



❶ « Piquet reflect ».

Source : *Instinctivement Nature*, FDC Savoie.



Un piquet coûte environ 15 € TTC.

Dispositifs acoustiques

À l'image des surfaces réfléchissantes, il existe également des systèmes acoustiques fixés à des poteaux et qui émettent un sifflement dès lors qu'ils sont stimulés par la lumière des véhicules en approche. Ce sifflement aurait pour effet d'empêcher la faune de traverser l'infrastructure, mais les résultats des diverses études effectuées sur ces dispositifs sont parfois contradictoires. Il est ainsi encore difficile de statuer sur l'intérêt de ces systèmes.



Dispositif acoustique fixé aux poteaux et déclenché par la lumière d'un véhicule qui s'approche.

Source : Stefan Suter Wildlife Solutions WLS.CH.

De nouveaux systèmes acoustiques d'alerte utilisant des enregistrements de sons naturels choisis en fonction des espèces cibles apparaissent plus prometteurs. Associés à un dispositif de détection, ces sons naturels répulsifs pour l'espèce cible sont ainsi émis pour avertir la faune à l'avance d'un danger, lorsqu'un véhicule est en approche.

L'efficacité de ces dispositifs sur le long terme est encore à démontrer, mais les premières expérimentations semblent encourageantes.

D'autres dispositifs utilisant le revêtement de la route (type d'enrobé, rainurage de la couche de roulement) pour émettre des sons dans les gammes de sensibilité des espèces cibles sont actuellement testés. Des études plus détaillées sont toutefois nécessaires pour vérifier l'efficacité de ces dispositifs sur le long terme.



Effacité d'un dispositif acoustique d'alerte de la faune utilisant des sons naturels pour réduire le risque de collision des animaux avec les trains

J. Babinska-Werka et al., 2015

Testé en Pologne sur les lignes de chemin de fer à grande vitesse, le dispositif de dissuasion des animaux UOZ-1 est un système utilisant une séquence de sons naturels représentative d'un danger imminent pour les espèces ciblées. Émis à l'approche des trains, ces signaux acoustiques provoquent la fuite des animaux.

Le dispositif est constitué de poteaux installés ② tous les 70 m, en alternance de chaque côté des voies, sur les sections accidentogènes.

Les tests effectués sur l'efficacité du fonctionnement de l'UOZ-1 montrent que ces dispositifs réduisent considérablement le risque de collisions entre les animaux et les trains en les effrayant mieux et plus vite que le simple son du train. 85 à 93 % des mammifères sauvages (selon les espèces) ont ainsi fui lorsque les trains se sont approchés et que les signaux avertisseurs ont été émis. Il n'a par ailleurs pas été constaté de différence de résultats entre les deux années d'études (2008 et 2012), ce qui tend à montrer que les animaux ne semblent pas s'être habitués au dispositif.



② Poteau UOZ-1 installé le long d'une voie ferrée.
Source : www.neel.com.pl

Systemes d'information des conducteurs

Les automobilistes ne sont pas nécessairement conscients des risques d'écrasement de la faune et la mise en place de panneaux de signalisation peut, dans certaines conditions, s'avérer intéressante pour les sensibiliser (📍 page suivante). Elle peut, dans certains cas, être associée à une limitation de vitesse. La signalisation peut revêtir plusieurs formes (panneau danger, signalisation temporaire ou permanente).

D'après les études, l'utilisation de simples panneaux avertisseurs ne permet ni de réduire franchement la vitesse des véhicules ni de réduire le nombre d'accidents impliquant des animaux sauvages. Les usagers de la route, notamment ceux qui empruntent fréquemment l'itinéraire, semblent s'habituer rapidement à la présence du panneau. L'association d'un panneau avec une limite de vitesse est légèrement plus efficace. L'efficacité est encore améliorée si les panneaux sont équipés de feux clignotants à l'approche du véhicule.

Pour les amphibiens, il est ainsi souvent préférable de mettre en place une signalisation temporaire lors des migrations* de manière à limiter l'accoutumance susceptible de réduire l'efficacité du panneau.



📍 Panneau d'information. Source : ASPAS.

Il existe des dispositifs plus sophistiqués associant un système de détection des animaux présents en bordure de l'infrastructure (détection infrarouge, thermique...) relié à un système d'alerte des conducteurs de cette présence (panneaux clignotants). Lorsque les panneaux s'allument, les conducteurs sont ainsi informés du danger potentiel lié à la présence avérée d'un animal à proximité de la chaussée.

Ces systèmes se sont révélés efficaces, mais ils sont réservés à des sections relativement courtes et nécessitent un entretien régulier pour assurer leur efficacité.

De nouveaux systèmes d'alerte plus légers sont également en cours de développement. Tout en assurant une efficacité similaire aux types d'équipements précédents, l'objectif de ces nouveaux dispositifs est de limiter les coûts d'achat, d'installation et de maintenance notamment par une miniaturisation des dispositifs.



Avertisseur de la faune Animot. GmbH & Co. KG.

Installé sur les balises de signalisation du bord de route, ce dispositif expérimental comprend un capteur infrarouge passif alimenté par une batterie rechargée par un petit module solaire intégré. Dès qu'un animal est détecté à proximité de la route par le capteur, un voyant lumineux clignote et informe les conducteurs du danger lié à la présence de l'animal. Chaque dispositif communique alors avec son voisin le plus proche qui se met également à clignoter.

Des études ont déjà montré sur les sections équipées que lorsque les dispositifs sont en action, les conducteurs réduisent leur vitesse et les freinages plus nombreux montrent une attention accrue des conducteurs.

Si les effets à long terme ne sont pas encore connus, ces systèmes présentent potentiellement un réel intérêt en termes d'efficacité et de coût.



Dispositif d'alerte Animot.
Source : Martin Weber/PIRSCH.



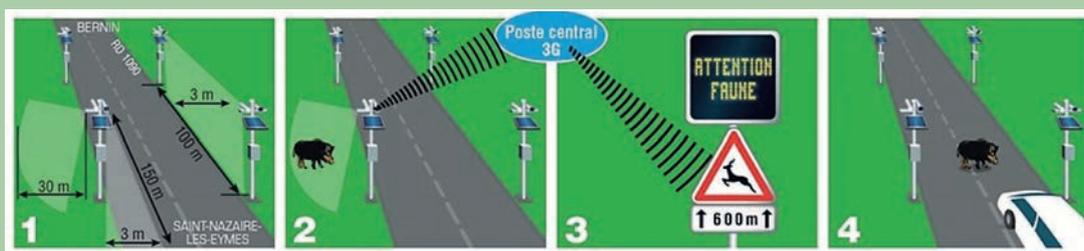
Projet Couloir de vie. Conseil départemental de l'Isère, 2008

Depuis 2008, dans le cadre de son projet européen de préservation de la biodiversité* « Couloirs de vie », le Conseil départemental de l'Isère a expérimenté, pour la première fois en France, des détecteurs à faune sur 7 sites dans les corridors biologiques de la vallée du Grésivaudan et de la cluse de Voreppe.

Ce système à détection thermique (installé par Néavia Technologies) permet de détecter un animal se trouvant à proximité de la route, à partir de la taille d'un lièvre, sur un périmètre de 300 m de large (150 m de part et d'autre du dispositif) et de 30 m de profondeur. Il est composé de mâts de détection équipés chacun de 3 capteurs et de 2 panneaux de signalisation clignotants, avertissant les conducteurs dès qu'un animal est détecté. Ce dispositif est parfois couplé à une limitation de vitesse (4).

Pour éviter les fausses alertes, le système ne prend pas en compte les zones de chemin ou les champs pâturés et ne s'allume que pendant les principales périodes de déplacement de la faune, à savoir une heure avant le coucher du soleil, jusqu'à une heure après le lever du soleil.

Un travail d'analyse des données brutes a été réalisé sur la période de mars 2013 à mars 2014. Il en ressort que, sur ce laps de temps, au moins 3 750 animaux ont été détectés avec plus de 2 800 traversées effectives. Sont dénombrées 10 à 15 alarmes par nuit et par site avec 5 à 10 traversées effectives.



4 Vue schématique du détecteur de faune. Source : Conseil départemental de l'Isère.



Le coût est de l'ordre de 70 000 € pour un site équipé de 4 mâts couvrant une section de 300 m de chaque côté (2 mâts par sens de circulation avec une interdistance de 150 m).

Systèmes mixtes d'information des conducteurs et d'alerte de la faune

Des projets associant un système de détection de la faune et d'avertissement de celle-ci et du véhicule ont également été testés.

De tels dispositifs ont pour avantage d'agir simultanément sur la faune et sur les conducteurs. Ils permettent ainsi de dissuader l'animal de traverser

la route, seulement quand il y a un risque réel de collision avec un véhicule, pour ne pas interférer avec ses mouvements à l'intérieur du territoire et éviter les processus de dépendance à un système de dissuasion. C'est la même chose pour le conducteur, puisque le système lumineux ne fonctionne que lorsque les animaux sont dans les environs de la chaussée.



Projet Life Strade en Italie

Il s'agit d'un projet innovant de développement d'un système pour prévenir la mortalité routière due à la faune dans le centre de l'Italie.

Le système fonctionne de la manière suivante (1) : un capteur radar Doppler (1) enregistre le passage d'un animal et transmet les informations à une unité de commande électronique (2). Cela provoque l'activation d'un signal d'alerte lumineux (3) invitant les conducteurs à réduire leur vitesse. Un radar (4) enregistre si la voiture en question est à la vitesse désirée. Si la voiture ralentit, le système s'arrête. Dans le cas contraire le radar transmet un signal à l'unité de commande (2), ce qui provoque l'activation d'un système de dissuasion optique et/ou acoustique (5) pour mettre en fuite l'animal.

Le système de dissuasion sonore est constitué d'une unité de commande numérique qui peut contenir plus de 500 types de sons différents. Son fonctionnement prévoit la diffusion de sons diversifiés et inégaux. Il intègre également la variation du volume audio afin d'éliminer le problème d'accoutumance des animaux.



1 Illustration et photos du système d'alerte/effarouchement. Source : : <http://www.lifestrade.it> <http://www.lifestrade.it>



Le coût total indiqué de l'installation du projet a été évalué à environ 13 000 € pour un dispositif couvrant de l'ordre de 200 m d'infrastructure (attention, il s'agissait à ce stade d'un test). Il comprenait notamment le prix de 12 capteurs pour la détection des animaux ainsi que l'assistance technique pendant toute la durée du projet (entretien et remplacement des composants endommagés et remplacement en cas de vol).

Systemes embarqués

L'atténuation des collisions avec la faune sera probablement aussi améliorée dans les prochaines années grâce au développement des systèmes associant un dispositif embarqué de détection de jour comme de nuit de la faune, avec un dispositif de freinage automatique, lorsqu'un animal se trouve sur la route.

De nombreux constructeurs ont déjà installé de tels dispositifs et les progrès, grâce à l'intelligence artificielle notamment, apparaissent très rapides.



Les systèmes intégrés dans les véhicules pour détecter les personnes et les animaux traversant la route sont de plus en plus amenés à se développer. Source : Volvo Cars.



Sur les infrastructures existantes - requalification

Objectif : mettre à niveau les infrastructures de conception ancienne au regard de leur perméabilité pour la faune

Amélioration de la fonctionnalité des passages à faune existants

Améliorer le fonctionnement des passages à faune en place en renforçant le système de guidage vers l'ouvrage (plantations), en gérant qualitativement la végétation déjà présente, en améliorant la fonctionnalité des ouvrages existants (ex. : suppression des puits de lumière).

- ➔ Dans les contextes le nécessitant (forts enjeux), l'élargissement des ouvrages supérieurs est une solution envisageable.

Aménagement des ouvrages non dédiés au passage de la faune

- A. Sous certaines conditions liées à la sécurité des usagers de la route et de la faune, création de banquettes* enherbées.
- B. Modification de destination de l'ouvrage non dédié en passage à faune (voies agricoles et forestières notamment).
- C. Création, dans les ouvrages hydrauliques, d'une banquette fixe en encorbellement* ou non, ou d'une banquette flottante, dédiée à la petite faune.

Construction d'un ouvrage neuf

- A. Pour la grande faune (se reporter au chapitre précédent), être vigilant à l'acceptabilité d'une telle mesure au regard des coûts engendrés.
- B. Pour la petite faune :
 - ➔ par fonçage d'un tube dans le remblai routier ;
 - ➔ par ouverture de la chaussée (installation d'un tube ou d'un dalot*) ;
 - ➔ par l'installation d'un passage par canopée pour les espèces arboricoles.

Diminution du risque de collisions en proposant des solutions alternatives aux ouvrages : avertisseurs sonores ou visuels pour la faune comme pour les usagers de la route

Recommandations

La faune peut s'adapter à de nombreuses situations, l'idée générale est donc de favoriser toutes les solutions permettant l'amélioration des continuités écologiques, même si elles ne respectent pas scrupuleusement les préconisations de dimensions ou d'implantations nécessaires à un fonctionnement optimum.



LES DÉPENDANCES VERTES, SUPPORT DES CONTINUITÉS LONGITUDINALES

FICHES

- 20 Comment intégrer la biodiversité dans la conception des dépendances ?
- 21 Comment permettre l'accès des dépendances à la faune tout en assurant sa protection ?
Les clôtures et les barrières

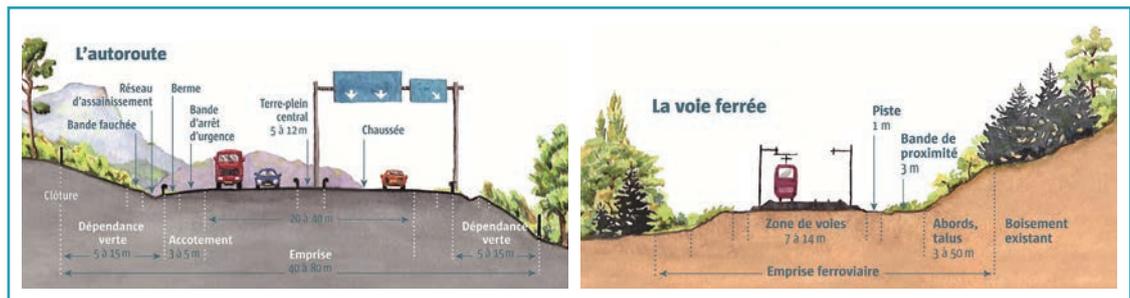
Qu'appelle-t-on dépendances vertes ?

Les dépendances vertes correspondent à l'ensemble des espaces végétalisés annexes à l'infrastructure, tels que les accotements, les fossés, les talus, les terre-pleins, les aires de repos et les points d'arrêt. Elles se subdivisent en deux catégories : celles qui sont directement associées au fonctionnement de l'ouvrage (accotements, fossés...) et celles qui accompagnent l'ouvrage (talus, délaissés...).

Les dépendances vertes situées le long des infrastructures peuvent, dans certaines conditions, accueillir des habitats variés. À l'échelle du territoire, le cumul de ces espaces représente plusieurs centaines de milliers

d'hectares constituant un maillage potentiellement important. Ainsi, les 9 048 km d'autoroutes concédées représentent environ 80 000 ha d'emprises dont 38 600 ha de dépendances vertes et les 29 273 km de lignes ferroviaires exploitées représentent 110 000 ha de dépendances vertes.

À ces éléments se rajoutent les réseaux routiers national et secondaire qui, même s'ils sont généralement constitués d'emprises moins larges, présentent un linéaire bien plus important et forment un maillage dense sur l'ensemble du territoire, avec plus d'un million de kilomètres. À l'échelle du territoire français, on estime la surface des dépendances vertes des infrastructures routières entre 4 500 et 6 000 km² (source : Cerema Ouest).



Profil en travers d'une autoroute et d'une voie ferrée.

Source : UICN France et CILB – Corridors d'infrastructures, corridors écologiques ? - État des lieux et recommandations.

En quoi les dépendances présentent-elles un intérêt pour la biodiversité* ?

De par leur forme, leur faible largeur, la pollution et l'entretien régulier (fauchage, girobroyages*, traitements, passages d'engins, creusement de fossés...), les dépendances paraissent a priori peu propices au développement des espèces. C'est en particulier le cas sur le réseau routier secondaire. Elles sont aussi souvent constituées de talus faits de terre remaniée subissant de nombreux travaux, les rendant favorables à l'accueil et à la dispersion d'espèces envahissantes. Enfin, en termes de continuités, elles sont fréquemment interrompues par des voies transversales.

La nature peut toutefois se reconstituer et s'adapter après les phases de travaux. Des milieux intéressants peuvent s'y développer et se maintenir durablement et de nombreuses espèces faunistiques et floristiques

peuvent s'y installer et utiliser ces dépendances comme corridors de déplacement (UICN France & CILB). C'est particulièrement vrai sur le réseau autoroutier pour peu qu'on adopte une gestion extensive qui permette de retrouver des espaces ensauvagés. C'est par ailleurs dans les situations paysagères les plus contrastées que le rôle des infrastructures en tant que continuité longitudinale apparaît le plus évident : la traversée des cultures intensives où les emprises autoroutières abritent souvent les seules prairies des espaces traversés.

L'intérêt de ces espaces pour la biodiversité est également dépendant d'autres paramètres comme leur gestion, leur âge... Il reste ainsi difficile de donner des généralités sur l'intérêt des dépendances vertes pour la biodiversité. Les conclusions des études scientifiques traitant du potentiel des dépendances vertes des infrastructures comme habitat ou corridor restent d'ailleurs ambivalentes.



Une revue systématique réalisée dans le cadre du programme ITTECOP par une équipe de l'unité mixte du service Patrinat (regroupant l'Office français de la biodiversité - OFB, le Muséum national d'histoire naturelle et le CNRS) ainsi que l'Inrae et le Cerema a permis de tirer plusieurs enseignements concernant la question spécifique du rôle d'habitat ou de corridor que peuvent jouer les dépendances des infrastructures linéaires de transport pour les insectes et les vertébrés notamment, d'un point de vue opérationnel. Il apparaît ainsi que :

- pour l'ensemble des ILT, il n'y a pas d'effet significatif net des dépendances sur l'abondance et la richesse des insectes par rapport à des milieux adjacents analogues. Toutefois, une tendance indique que les dépendances routières seraient des habitats plus favorables aux insectes pollinisateurs et herbivores que les habitats analogues hors dépendances. Ceci pourrait être lié à des gestions plus « douces » de ces dépendances : réduction des traitements chimiques, fauche plus tardive, maintien d'une plus grande naturalité, etc. Ces interprétations restent cependant à valider ;
- pour les vertébrés, les bords d'autoroutes semblent être un habitat favorable aux micromammifères* (souris, mulots, etc.), en particulier dans les zones d'agriculture intensive, mais seraient par contre défavorables aux passereaux (abondance et nombre d'espèces plus faibles). On peut penser ici que les collisions avec les véhicules, possiblement plus fréquentes pour les oiseaux jouent un rôle ;
- concernant les modes de gestion, même si certains sont peu étudiés et leurs effets mal évalués, il semble que les insectes soient peu influencés par ceux-ci, tandis que pour les vertébrés, réduire la végétation sur la dépendance tendrait à baisser l'abondance des micromammifères* sur les bords de routes.

Référence :

Sordello, R., Villemey, A., Ouédraogo D.-Y., Jeusset, A., Vargac, Azambourg V., Witté I., Hulard M., Reyjol Y., Touroult, J., *Connectivité longitudinale et potentiel d'habitat des dépendances vertes en fonction de leur nature, des espèces et du contexte : une revue systématique sur les infrastructures de transport.* Cohnecs-It Phases 1 et 2.

En contexte d'agriculture intensive, les dépendances constituent notamment des zones significatives de refuge pour un grand nombre d'espèces et peuvent accueillir des espèces rares pour lesquelles elles jouent un rôle de conservation et de dissémination.



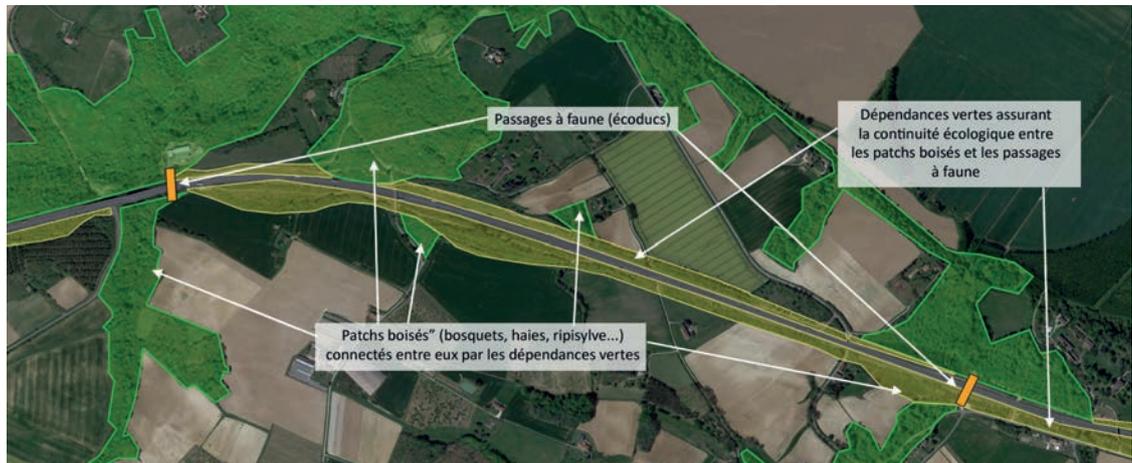
Intérêts écologiques pour la flore des bords de route en milieu agricole intensif

L. De Redon, MNHN, 2008

Cette étude menée en 2008 dans un paysage d'agriculture intensive a montré que les bords de routes accueillait 65 % des espèces végétales échantillonnées dans les différents milieux représentés (champs, bois, bords de route) et que 50 % d'entre elles étaient exclusivement trouvées au sein de ces dépendances vertes.

Les dépendances vertes, si elles ne constituent pas toujours des habitats de vie pour les espèces, jouent un rôle de corridor en connectant différents patchs d'habitats présents au sein de la matrice agricole. Elles complètent également les continuités locales pour orienter efficacement les animaux vers des passages à faune existants et contribuent à la transparence de l'infrastructure (ex. ❶ page suivante). Cet aspect est particulièrement important dans des paysages fortement urbanisés, ouverts ou agricoles, présentant peu de possibilités d'habitats favorables aux déplacements. Ces mêmes dépendances restent toutefois plus riches quand le contexte paysager est naturel, comparé à un contexte d'agriculture intensive ou urbain.

L'intérêt des dépendances vertes pour l'accueil des espèces dépend toutefois de leur largeur, du mode d'entretien (fauchage/broyage, date, hauteur de coupe...) ou encore des types de milieux présents (haies, prairies...).



❶ Exemple du rôle de raccordement des dépendances entre les corridors et les ouvrages de franchissement de la faune. Source : d'après Vinci Autoroutes.

Si les dépendances vertes peuvent avoir un intérêt écologique pour la faune et ses déplacements, l'attraction des animaux en bordure d'infrastructure peut également augmenter les risques de collisions. Elles peuvent alors parfois devenir des pièges mortels, voire créer un véritable effet puits. Cette attractivité est le plus souvent liée à l'aménagement et l'entretien

de ces dépendances qui conditionnent sa valeur en tant qu'habitat ou corridor. Il est donc nécessaire de faire des compromis entre les différents enjeux inhérents à l'exploitation d'une infrastructure linéaire de transport (❷), sachant que les enjeux techniques et sécuritaires restent prioritaires par rapport aux enjeux écologiques, notamment au plus près des chaussées.

Enjeux liés à la gestion des dépendances vertes

Sécurité des agents et des usagers

Assurer la sécurité des voyageurs :

- participer le cas échéant à la circulation (croisement des véhicules sur chaussée étroite)
- favoriser la lisibilité de la route (support de la signalisation routière),
- contribuer à la visibilité de la route (intersection, courbe, etc.)
- assurer les obligations légales de débroussaillage dans le cadre de la prévention des incendies de forêt (sud de la France) : débroussaillage allant jusqu'à 20 m des infrastructures.

Techniques de la route

Assurer la fonctionnalité de la route (gestion des eaux pluviales et de ruissellement, contribution à la réduction des nuisances).

Paysage

Favoriser la création des paysages :

- contribuer à la lisibilité et au balisage de la route, notamment en rompant la monotonie des paysages,
- promouvoir la région traversée lors des itinéraires des usagers.

Santé publique

Filtration des poussières liées au trafic.

Environnement

Contribuer à la protection de l'environnement et à la promotion de la biodiversité (refuge de certaines espèces, continuités écologiques, etc.).

❷ Différents enjeux liés à la gestion des dépendances vertes. Source : Cerema.

Comment intégrer la biodiversité dans la conception des dépendances ?

Au stade de la conception et lors d'interventions de requalification* de réseaux ou de mise à niveau, il est important de se poser des questions sur l'aménagement des dépendances, sur la manière

dont elles peuvent s'inscrire dans les continuités locales, et sur la gestion de ces dépendances pour qu'elle soit « facile », pérenne et favorable à la biodiversité.

Modelage des abords de la voie favorable à la biodiversité*

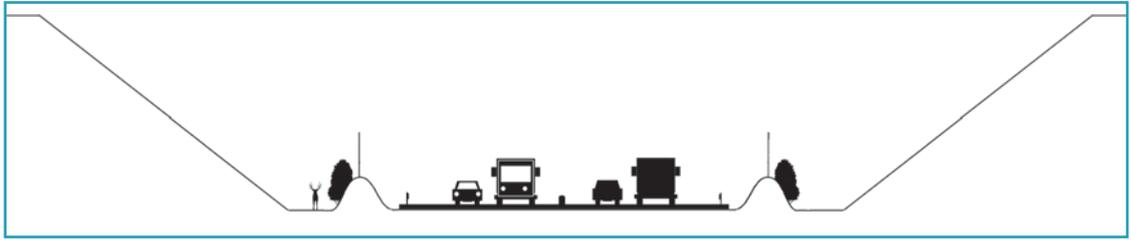
Le modelage des dépendances est le plus souvent réalisé pour des raisons techniques d'exploitation ou de construction (maintien des talus, équilibre des matériaux de terrassement sur tout ou partie du tracé...) ou pour des raisons paysagères.

Dans certaines situations et particulièrement aux abords des infrastructures les plus larges comme les autoroutes ou les 2 x 2 voies, l'intégration des enjeux liés aux milieux naturels, notamment ceux liés aux continuités écologiques, peut également être envisagée. Les aménagements des dépendances permettent une certaine latitude dans le modelage, notamment en termes de microtopographie, pour diversifier les milieux et les capacités d'accueil pour la faune. Ces interventions restent toutefois encore peu fréquentes. Il est par ailleurs nécessaire de prendre en compte les problématiques de terrassement et les équilibres déblais/remblais pour ne pas multiplier les talus difficilement exploitables par le gestionnaire.

La plupart du temps, le modelage « écologique » des dépendances a des objectifs de protection. C'est notamment le cas pour les oiseaux. Ainsi, lorsque la largeur des emprises est suffisante, et particulièrement lorsque les matériaux sont excédentaires, il est envisageable d'implanter, au droit d'un point noir de collision, un merlon de terre planté d'arbustes, type merlon anti-bruit. Ce contexte reproduit celui d'une infrastructure linéaire de transport en déblai, qui présente une probabilité significativement plus faible de collisions de l'avifaune avec le trafic. Ce merlon doit être presque aussi haut qu'un camion, afin que les oiseaux soient forcés de voler au-dessus des véhicules (environ 4 m). De plus, le merlon acoustique procure l'avantage de créer une zone de calme pour les espèces les plus sensibles au bruit (en gardant toutefois à l'esprit les problématiques d'entretien) qui choisissent de s'installer ou de se déplacer le long de l'infrastructure (❶ et ❷ page suivante).



❶ Schéma d'aménagement de merlons de protection assurant la protection de la faune volante et la tranquillité des dépendances pour la faune terrestre. Source : Cerema.

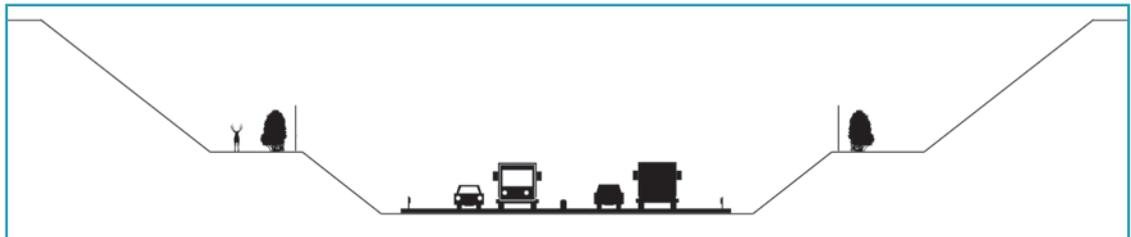


② Schéma d'aménagement de merlons de protection en zone de déblais assurant la tranquillité des dépendances pour la faune terrestre. Source : Cerema.

Afin de faciliter les déplacements des animaux et de canaliser leur passage au niveau des dépendances, la mise en place d'une surface plane, parallèle à la route, sous forme de risberme* peut être envisagée dans les talus (③). C'est en particulier favorable lorsque les pentes sont importantes. Les risbermes ont

également pour avantage de faciliter la stabilisation des grands talus et de pouvoir y installer les clôtures.

Quoi qu'il en soit, ce modelage est à corrélérer avec la stratégie de plantation mise en place pour être pleinement efficace.



③ Schéma d'aménagement de risbermes* dans les déblais importants permettant de constituer une zone favorable aux déplacements de la faune et d'implanter les clôtures. Source : Cerema.



Aménagement de mur en gabions* RD 16 (CD57)

Dans certaines situations, il est préférable pour des raisons techniques ou pour limiter les emprises, de remplacer les remblais par des murs de soutènement. Des murs en gabions* peuvent alors être utilisés. Ils auront pour avantage de constituer des milieux favorables aux reptiles, voire aux insectes et aux amphibiens. En sommet de dispositif, il faudra simplement veiller à bien protéger la voie de toute intrusion de cette petite faune (ex. : bordure béton).

Ils ont également pour avantage de nécessiter peu d'entretien.



Mur en gabion le long de la RD16 (57).
Source : Cerema.

Aménagement végétal favorable

Si les semis et les plantations ont souvent un objectif technique (lutte contre l'érosion des terres remaniées) et paysager (cicatrisation et intégration de l'infrastructure), ils peuvent également contribuer à la reconstitution de milieux fonctionnels pour la flore et la faune et jouer ainsi un rôle dans l'écologie du paysage (zone refuge, corridor de déplacement notamment).

Pour une meilleure insertion et reprise, à l'image de l'aménagement des passages faune, les essences choisies pour les semis et les plantations doivent être indigènes et pousser naturellement sur le type de sol traversé par l'infrastructure (ex. : labels « Végétal local » et « Vraies messicoles », cf. encart fiche n° 8). Une bonne préparation des plants, un paillage naturel (le paillage plastique est à proscrire) et un travail du sol adapté en même temps que de bonnes conditions climatiques de plantation garantissent une bonne reprise. Elles ne doivent pas avoir besoin d'irrigation pour s'établir, mais un minimum d'arrosage est parfois nécessaire durant la garantie, lorsque les conditions sont sévères (sol remanié, de piètre qualité, pentes...). Le semis d'espèces adaptées aux conditions climatiques et

édaphiques* locales (graminées, dicotylédones*, voire arbustes) est également une technique à privilégier, notamment en section courante. S'il y a lieu et sans toutefois laisser les sols nus, la régénération naturelle de la végétation arbustive peut être envisagée (attention toutefois à ne pas favoriser l'installation de plantes exotiques envahissantes au détriment des espèces locales). Cette démarche limite les coûts d'aménagement (moins de plantations, moins d'interventions paysagères). Si possible, la végétation existante doit être préservée au maximum.

Les partis pris paysagers peuvent être très divers et doivent également tenir compte du paysage perçu depuis l'extérieur de l'infrastructure, mais également du paysage pour les usagers de l'infrastructure. Il est ainsi difficile de définir un aménagement type qui soit généralisable à l'ensemble des dépendances. Suivant les enjeux locaux, il est toutefois intéressant de jouer sur la structure de la végétation pour faciliter la connectivité entre les différents habitats ou passages à faune par la mise en place de (doubles) haies, d'une alternance de zones ouvertes et fermées, de zones à nu...



La réalisation d'une double haie constituée d'une haie continue au plus près de l'infrastructure (ex. : en haut de talus) et d'une haie discontinue en limite d'emprise (ex. : en bas de talus) a par exemple pour avantages :

- d'assurer une connectivité renforcée le long des dépendances ;
- de multiplier les habitats ;
- de délimiter les emprises de l'infrastructure avec la haie discontinue, rôle qui le plus souvent est joué par les clôtures ;
- et donc de positionner les clôtures au plus proche de la haie continue.

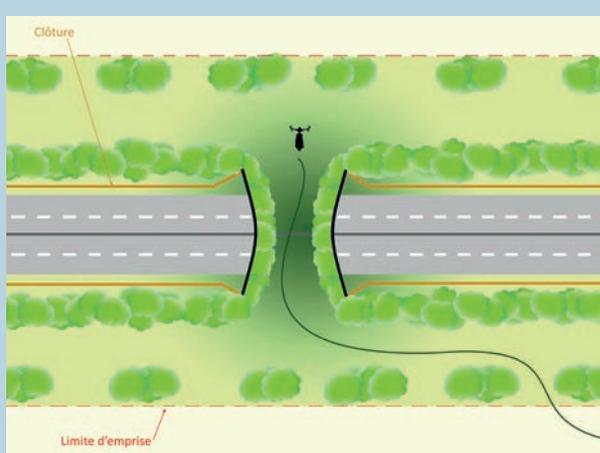


Schéma de principe d'une double haie.
Source : Cerema.

Au plus près de la route (sur les premiers mètres), il convient toutefois de maîtriser l'attractivité des dépendances vertes en évitant la plantation d'espèces appétentes ou mellifères qui peuvent indirectement induire un plus grand nombre de collisions de la faune avec les véhicules. La plantation d'un couvert arbustif sur les dépendances ou leur maintien en couvert herbacé sont recommandés, afin de réduire la probabilité de collisions des oiseaux avec le trafic. Pour les passereaux et les rapaces nocturnes, la présence d'arbres en bordure d'infrastructure serait par contre un facteur favorisant les collisions avec le trafic (Guinard E., 2013). Ces résultats sont toutefois des tendances qui nécessitent confirmation par des études plus larges.

Les plantations doivent également prendre en compte les conditions d'entretien des clôtures et des fossés

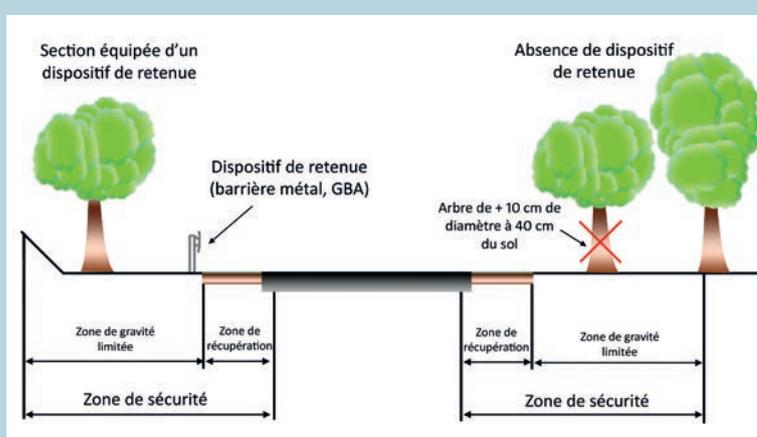
par les gestionnaires (épareuse, débroussailluse...). Généralement, à terme, un dégagement des clôtures sur 1,5 à 3 m est à envisager en bordure de clôtures et de fossés.

Dans tous les cas, il est nécessaire d'avoir un échange avec l'exploitant bien en amont de la conception du plan paysager, afin de proposer un aménagement pérenne.

Pour les voies ferroviaires, la plantation d'arbres doit également être pensée de façon à ce que les feuilles ne finissent pas par tomber sur les rails. En effet, les feuilles en se décomposant forment une pâte qui dégrade le contact entre la roue de certains trains et le rail. Or, d'une part, ce contact est essentiel pour connaître la position des trains entre deux signaux et d'autre part, il permet aux trains de freiner sans glisser.



Au-delà de la zone de récupération (zone où tout obstacle* est proscrit), la réglementation oblige à supprimer tous les arbres situés dans la zone de sécurité dont le diamètre, à 40 cm du sol, est supérieur à 10 cm. Dans le cas contraire, il est nécessaire de protéger ces obstacles* par des dispositifs de sécurité de type glissière.



D'après le guide technique Traitement des obstacles latéraux sur les routes principales hors agglomération, Cerema 2002. Source : Cerema.

Multiplication des habitats

À l'image des aménagements qui peuvent être envisagés sur les passages faune, les dépendances vertes sont également des espaces disponibles qui peuvent bénéficier de l'aménagement de structures favorables à l'accueil de la biodiversité*. L'objectif est d'offrir un maximum de gîtes pour un maximum de cortèges d'espèces. Ces abris peuvent être variés

et aller du simple amas de branches (4 page suivante), tas de bois ou de pierres, à des structures plus complexes comme les hibernaculum* (5 page suivante). La variabilité des structures peut également être renforcée par des dispositions différentes permettant de varier les microclimats et ainsi de constituer différents microhabitats.

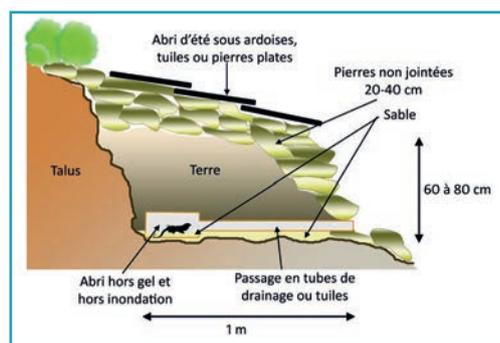
L'attractivité de ces aménagements est nettement améliorée lorsque, parallèlement, ils sont bordés d'un aménagement végétal favorable de type ourlet de hautes herbes.



④ Réalisation d'un andain en bordure d'emprise de l'autoroute A150.

Source : OGE - Vincent Vignon.

En fonction des caractéristiques locales, des milieux humides (mares, friches humides) peuvent également être envisagés.



⑤ Schéma de principe d'un hibernaculum* dans un talus.

Source : d'après Aménagement d'abris à reptiles, Daniel Guérineau, Marie-Claude Guérineau.

Gestion adaptée

Chaque gestionnaire d'infrastructure a en charge l'entretien et la gestion de ses dépendances. Les modalités de ses interventions associées aux conditions écologiques des milieux se traduisent par un intérêt plus ou moins élevé des espaces pour la biodiversité*, en particulier pour ce qui est de leur valeur en tant qu'habitat ou corridor.

Si cette gestion au quotidien peut être optimisée pour tenir compte au mieux de la biodiversité, voire la favoriser, elle doit également intégrer des contraintes techniques et en particulier celles liées à la sécurité.

Cette gestion doit également prendre en compte des problématiques nouvelles comme les espèces exotiques envahissantes, les risques sanitaires, la visibilité accrue de certaines plantes souvent considérées comme indésirables par les usagers (ex. : chardons, orties), le risque d'incendie ou encore le plan national écofito¹⁶. Une gestion plus en lien avec les intérêts environnementaux nécessite par ailleurs une formation spécifique des agents des services gestionnaires (explication de la démarche et des aspects techniques).

Pour favoriser la biodiversité, plusieurs éléments doivent être considérés.

Privilégier le principe de naturalité

Alors que des interventions régulières se justifient sur certains milieux et au plus près des chaussées, il peut être intéressant d'appliquer dans d'autres zones (haut des talus de déblais), un principe de **naturalité**, c'est-à-dire éviter d'intervenir. Ce principe doit cependant être compatible avec les contraintes de sécurité et de maintenance.

Limiter les perturbations d'origine chimique

Concernant les traitements phytosanitaires, l'article 68 de la Loi sur la transition énergétique et la croissance verte, votée le 18 juillet 2015, interdit l'emploi de produits phytopharmaceutiques* sur les routes, depuis le 1^{er} janvier 2017. Le texte prévoit néanmoins des exceptions, limitées aux « zones étroites ou difficiles d'accès, telles que les bretelles, échangeurs, terre-pleins centraux et ouvrages, pour lesquels l'interdiction des produits phytopharmaceutiques ne peut être envisagée pour des raisons de sécurité des personnels et des usagers, ou de sujétions disproportionnées sur l'exploitation routière ».

Pour la gestion des voies ferrées, les conditions d'exploitation rendent difficile l'utilisation de certaines techniques alternatives aux désherbants. SNCF Réseau a toutefois diminué sa consommation de produits phytosanitaires grâce à l'évolution des produits et de leur efficacité équivalente à plus faible dose, mais aussi à l'évolution de ses pratiques. Des matériels plus performants comme les camions et les trains désherbeurs équipés d'un GPS relié par 3G avec le système d'information géographique pour la maîtrise de la végétation (SIGMA) sont utilisés. Les cours d'eau repérés au préalable font l'objet, par ailleurs, d'une zone tampon d'exclusion de traitements phytosanitaires.

Développer une gestion favorisant la diversité biologique

L'enjeu est de trouver le bon équilibre entre les actions de gestion nécessaires au bon fonctionnement de l'infrastructure et les fonctionnalités écologiques recherchées. Il existe de nombreux guides relatifs à ce type de gestion qui doit être définie selon les enjeux locaux. Parmi les éléments de gestion pouvant être concernés, on trouve :

■ L'entretien différencié par zones

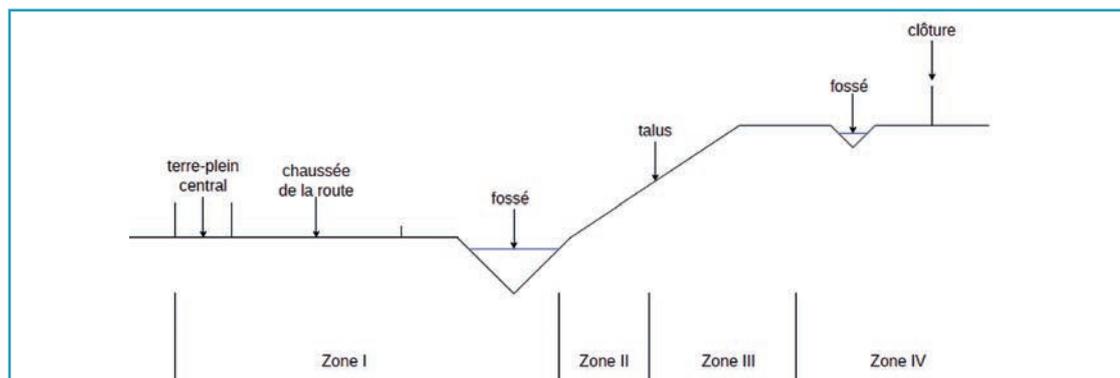
Il permet de concilier les impératifs de gestion avec une diversification des milieux selon un axe transversal et longitudinal.

Sur le plan transversal, la gestion est d'autant plus extensive que l'on se trouve éloigné de l'infrastructure.

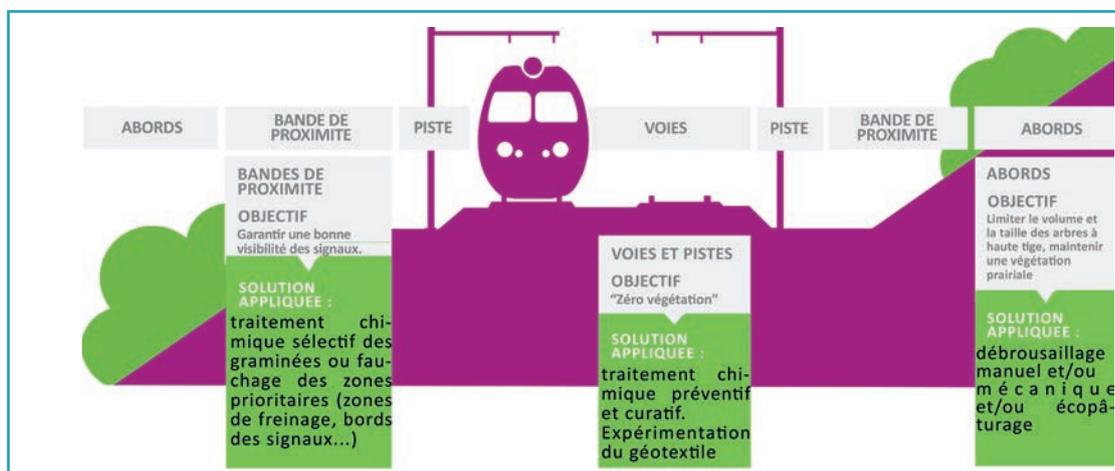
Pour les infrastructures autoroutières, on distingue quatre zones (⑥) :

- la **zone I** des dépendances vertes se distingue par sa proximité à l'infrastructure de transport. Elle assure principalement un rôle lié à la **sécurité des usagers de la route**, en permettant notamment une bonne visibilité de la route, de ses abords et de la signalisation ;
- la **zone II** des dépendances vertes supporte la **fonctionnalité de la route** et contribue activement à une bonne visibilité. Elle participe à la stabilité des talus ;
- la **zone III** des dépendances vertes présente moins d'enjeux relatifs à la sécurité des usagers ou à la technique de la route. Elle peut en revanche contribuer à la **promotion de la biodiversité* et des paysages**. Ainsi, elle peut être le refuge d'une faune et d'une flore spécifiques et participer à la mise en valeur de l'itinéraire. Elle participe également indirectement à la sécurité des usagers en réduisant les risques de monotonie au volant ;
- enfin, la **zone IV** des dépendances vertes peut faire l'objet d'enjeux relatifs à la **porosité de l'infrastructure par rapport à son environnement**. Dans le cas où le gestionnaire doit réduire les risques de collisions liés au franchissement de l'infrastructure par la faune, cette zone fait l'objet d'un entretien particulier pour éviter l'endommagement de la clôture. Dans le cas contraire, la gestion peut se faire au cas par cas, selon les riverains de cette dépendance verte (zone agricole, zone habitée, etc.). Lorsque peu d'enjeux sont présents sur cette zone, une gestion plus extensive, proche de celle prévue pour la zone III, peut être proposée.

Concernant les voies ferrées, la gestion de la végétation s'organise selon trois zonages, les « voies et pistes », les « bandes de proximité » et les « abords » (⑦ page suivante).



⑥ Coupe schématique d'une dépendance verte d'une infrastructure routière. Source : Cerema.



⑦ Principe de gestion des infrastructures ferroviaires et de leurs dépendances.

Source : <https://www.sncf-reseau.fr/fr/a-propos/developpement-durable/environnement/biodiversite>

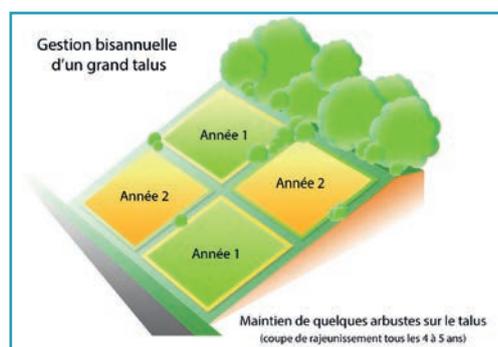
Sur le plan longitudinal, il peut également être intéressant de travailler à une échelle plus fine et d'appliquer un entretien différent par zones (entretien en mosaïque) en alternance le long de l'infrastructure (⑧). Ce type de gestion permet également de conserver des habitats refuges et d'alimentation lors des opérations d'entretien.

■ Le fauchage raisonné

Le fauchage est à préférer au broyage même si en pratique, compte tenu de la difficulté de mise en œuvre du fauchage, la quasi-totalité des gestionnaires font du broyage. Le broyage est plus destructeur pour la flore et la faune que le fauchage. La minéralisation des résidus de broyage se fait plus rapidement que ceux de fauchage et enrichit le milieu (or, la diversification de la flore demande un appauvrissement de ces espaces). Le fauchage raisonné peut se définir comme un ensemble de bonnes pratiques destinées à rationaliser le fauchage en bord de route, afin que les enjeux environnementaux et économiques soient pleinement intégrés et pris en compte dans la réalisation des objectifs de maintien de sécurité et de conservation du patrimoine routier.

Le fauchage raisonné favorise la préservation de la faune et de la flore, afin de permettre aux dépendances vertes de jouer un rôle de réservoir de biodiversité* ou de corridors biologiques.

Une gestion appropriée des bords de route peut augmenter considérablement leur valeur floristique et donc leur intérêt pour le reste de la biodiversité.



⑧ Principe de gestion en mosaïque sur grand talus.

Source : Cerema d'après OGE.

Outre la réduction de l'emploi des produits phyto-pharmaceutiques* évoquée plus haut, on peut faire les recommandations suivantes :

Hauteur de coupe

Globalement, il est conseillé d'augmenter la hauteur de coupe. Une gestion extensive qui implique une coupe plus haute de la végétation comprise entre 10 et 12 cm permet aux dépendances vertes de jouer un rôle en matière de réservoir et de corridor biologique. Associée à un fauchage tardif, elle favorise par exemple les insectes pollinisateurs du fait de la floraison du couvert végétal. Elle est également bénéfique aux orchidées. En effet, en passant de 4 cm à 10 cm de hauteur de coupe, les rosettes* des orchidées sont préservées. La plante ne s'épuise donc pas à refaire sa rosette. Notons également que la hauteur de la végétation au bout de 3-4 semaines est identique quelle que soit la hauteur de coupe.

Fauchage tardif

Il s'agit d'un fauchage qui s'effectue à partir de la mi-juillet et si possible en fin d'été, pour permettre la réalisation du cycle biologique des espèces animales comme végétales.

Les espèces végétales peuvent ainsi atteindre le stade de floraison puis de fructification, permettant de conserver la diversité floristique d'une année sur l'autre, mais également les pollinisateurs associés. Le fauchage ne doit pas non plus être trop tardif, au risque de détruire les rosettes* de feuilles des orchidées qui apparaissent dès l'automne.

Le fauchage tardif permet en outre une **maîtrise des coûts de gestion**, en réduisant les fréquences de fauche et en augmentant sa hauteur. En effet, lorsque la hauteur de fauchage est comprise entre 10 et 12 cm, les risques de projections, d'usure ou de casse des outils sont limités.

Cette gestion permet donc d'augmenter la durée de vie du matériel de fauche.

Fréquence de passages

Une fréquence de passages trop importante favorise le développement des espèces floristiques de type adventices annuelles et nitrophiles, elle est défavorable à la diversité floristique. Elle contribue à l'eutrophisation du milieu et à la banalisation de la flore.

Le passage fréquent du broyeur entraîne également de nombreuses destructions : toiles d'araignées, nids. Il élimine également la ressource en nectar et en pollen pour les insectes floricoles et entraîne des changements de microclimats affectant les arthropodes peu mobiles.

Le plan de gestion des dépendances routières suivant est proposé :

Types d'espaces	Fréquence	Période	Hauteur
Bandes de sécurité	Autant que nécessaire (en général, 2 à 3 fois par an).	En fonction de la hauteur de la végétation.	Supérieure à 10 - 12 cm sur une passe d'1,5 m.
Dégagements de sécurité (carrefours, virages, panneaux, etc.)	Autant que nécessaire.	En fonction de la hauteur de la végétation.	Supérieure à 10 - 12 cm.
Bermes et fossés	1 fois par an pour assurer la fonctionnalité du passage.	Après la période estivale (fauchage tardif).	Supérieure à 10 - 12 cm.
Talus	1 fois par an [Peut ne pas être fauché sur le réseau autoroutier sous réserve des obligations légales de débroussaillage ou autres obligations réglementaires].	Après la période estivale (fauchage tardif).	Supérieure à 10 - 12 cm.
Le long des clôtures	1 fois par an.	Après la période estivale (fauchage tardif).	Supérieure à 10 - 12 cm.

■ Exportation des produits de fauche ou de broyage

En limitant la décomposition sur place, l'exportation de la biomasse permet d'éviter l'eutrophisation des milieux et modifie sur le long terme l'équilibre floristique (en faveur des espèces oligotrophes* comme les orchidées, aux dépens des graminées

les plus concurrentielles). Elle réduit les fréquences de fauchage et de curage du réseau hydraulique. Elle nécessite du matériel adapté (système d'aspiration et de collecte), une organisation de chantier spécifique avec le ramassage des déchets au préalable et un transport de la biomasse vers des installations de valorisation (compostage ou méthanisation).



Le projet Carmen

Caractérisation des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et des métaux dans les herbages fauchés en bord de route pour la méthanisation, lancée en 2015. Ce projet a pour objectif d'étudier les éventuels freins à la valorisation par méthanisation des herbages fauchés en bord de route (utilisation du produit final : compost), liés à la contamination de cette biomasse par les polluants issus du trafic.



Matériel de fauche. Source : DIR Ouest.

Les résultats montrent des concentrations en polluants inférieures aux valeurs limites prescrites par la norme pour la qualité des composts. Cette biomasse pourrait ainsi être une ressource locale adaptée aux petites installations de méthanisation (analyse coût-bénéfice).

Référence : Isabelle Zdanevitch, Jeanne Lencauchez, Léa Duffo, Christophe Pineau, Laura André, Thierry Ribeiro, CARMEN, *Caractérisation des HAP et des métaux dans les herbages fauchés en bord de routes pour la méthanisation*, ADEME, 2018.

■ La lutte contre les espèces exotiques envahissantes

Les bords de routes et de voies ferrées présentent des conditions favorables (perturbations, apports de terre...) à l'établissement et au développement des espèces exotiques, parfois envahissantes, pouvant perturber le bon fonctionnement de l'infrastructure et dégrader son rôle d'habitat ou de corridor. La destruction de la végétation et du sol lors de la réalisation et l'entretien fréquent des bordures favorisent ces espèces généralement colonisatrices et moins sensibles aux perturbations (broyages, traitements, compression...) que la flore indigène. Des actions préventives consistent à nettoyer préalablement les engins, limiter le transport de terre et végétaliser rapidement les zones à risque en choisissant des semences locales dépourvues d'espèces envahissantes.

Le gestionnaire doit mener un travail de connaissance et d'inventaires de ces espèces, ainsi que la formation de ses agents à ces problématiques. En cas de présence de foyers, un plan de gestion doit être défini incluant l'identification des moyens techniques (méthodes de gestion), humains et financiers à prévoir. Les résultats du projet Dynarp (*Dynamique paysagère des renouées sur les infrastructures de transport*, Ittecop 2014-2017) sur la renouée du Japon soulignent ainsi l'importance de la concertation entre acteurs du territoire.

Les techniques de gestion sont encore expérimentales pour de nombreuses espèces et l'élimination totale est un objectif difficilement atteignable. On peut citer : l'évitement des zones colonisées, la fauche manuelle (débroussailleuse, sécateur ou autre outil permettant d'exporter toute la biomasse coupée), la pose d'un écran racinaire, le déterrage manuel, la purge mécanique, l'écopâturage extensif (ovin ou caprin), etc.

(In)former le personnel des entreprises et leurs prestataires (paysagistes, entretien...) à la gestion écologique

Il s'agit de former et de structurer toute une filière de métiers autour de l'écologie, en lien avec les experts dans ce domaine (scientifiques, bureaux d'études, gestionnaires d'espaces naturels...). Il faut aussi veiller à garder en mémoire les objectifs de gestion, afin de ne pas détruire des mesures, par simple oubli ou négligence.

SNCF Réseau renforce l'expertise « végétation » dans les établissements de maintenance : des « experts végétation » sont ainsi chargés d'établir un plan de maintenance raisonnée et d'assurer la cohérence de l'ensemble des interventions sur leur territoire (des entreprises privées aux moyens internes de désherbage et de débroussaillage).

Concevoir des plans de gestion coconstruits avec des écologues et des acteurs du territoire

Permettant une vision à moyen terme et reductible, le plan de gestion contribue à répondre, notamment sur les délaissés, aux enjeux écologiques de chaque milieu identifié et oriente leur qualité en déterminant des objectifs, des moyens et des actions de gestion à mettre en œuvre.

Un document de gestion « cadre » peut par ailleurs être décliné et adapté localement. Ce document permet une approche globale de la qualité et de la diversité des dépendances. Il permet également de mieux identifier les mesures à mettre en œuvre afin d'intégrer les enjeux corridors à une échelle suffisamment large, tout en prenant en compte les enjeux locaux comme la présence d'espèces protégées ou envahissantes.



Directive d'entretien raisonné des dépendances vertes, rédigée en collaboration DIRO/Cerema

La première directive d'entretien des dépendances vertes a été élaborée en 2008, accompagnant la création de la DIR Ouest. Elle posait les principes d'une doctrine d'entretien commune à tous les districts selon une logique d'itinéraires.

L'évolution du contexte réglementaire, le développement de nouvelles pratiques de gestion et de l'offre en matériels d'entretien ont amené à la révision de cette directive en 2015, puis en 2019, avec comme fil conducteur « la prise en compte de la gestion raisonnée des dépendances et la préservation de l'environnement ». Elle s'inscrit dans une démarche plus globale de valorisation des politiques d'entretien courant du patrimoine (chaussées, ouvrages d'art, dépendances vertes et bleues).

Cette directive se compose d'un document général présentant les principes de gestion différenciée* par zonage, les politiques d'entretien et leurs modalités de mise en œuvre (planification, formation, moyens hygiène et sécurité). Elle se décline en un certain nombre de fiches thématiques présentant les bonnes pratiques sur certains sujets spécifiques comme le fauchage, le débroussaillage, la gestion des plantes envahissantes ou la gestion du patrimoine arboré.

Les districts doivent réaliser leur plan d'entretien annuel des dépendances vertes en application de cette directive.



Comment permettre l'accès des dépendances à la faune tout en assurant sa protection ? Les clôtures et barrières

Les conditions d'implantation des clôtures et barrières le long des dépendances¹⁷

Clôtures, réglementation et recommandations générales

Il n'existe aucune réglementation nationale générale imposant au responsable d'un réseau l'apposition de clôtures le long des voies de circulation. L'État et les collectivités locales, en tant que responsables du réseau routier, ont toutefois une obligation réglementaire de mise en sécurité des usagers de la route et d'entretien des voies. Selon la jurisprudence, cet entretien normal des voies comprend, près des massifs forestiers abritant de la grande faune et dans les zones où le passage des grands animaux est habituel :

- au minimum, sur chacune des voies, le balisage des zones de danger ;
- sur autoroute ou ligne à grande vitesse uniquement, l'aménagement de ces zones, afin d'éviter le risque de collisions.

De façon plus générale et au-delà des aspects juridiques, il est recommandé d'équiper l'ensemble des LGV et des infrastructures routières à fort trafic comportant plus de 2X2 voies.

Les clôtures ont par contre comme inconvénient de créer une barrière physique qui limite voire empêche le déplacement de la faune de part et d'autre de l'infrastructure. C'est également pourquoi ces dispositifs sont à réserver à ces catégories d'infrastructures (2X2 voies, LGV) pour lesquelles les enjeux pour la faune sont les plus élevés et les risques pour les usagers et le matériel sont les plus importants.

Pour les plus petites infrastructures à faible densité de circulation, les clôtures sont généralement à éviter ou sont à réserver à des problématiques spécifiques de sécurité ou de protection de la faune (point noir de collision localisé).



Faon. Autoroute A89 (Corrèze).

Source : Vinci Autoroutes/Réseau ASF.

Dans le cas contraire, l'effet barrière pourrait avoir des conséquences plus graves sur la survie des populations à long terme que la mortalité due à la circulation.

Toutefois, dans le cas d'espèces particulièrement menacées et pour lesquelles le potentiel de mortalité par collision pourrait affecter la survie de la population ou du noyau de population, il est impératif d'empêcher l'accès à la chaussée. Dans ce cas, une hiérarchisation des risques potentiels de collision en partie dépendants du niveau de trafic peut alors s'avérer indispensable pour mieux cibler les linéaires à traiter. Rappelons que sur les plus petites infrastructures, des dispositifs avertisseurs s'activant lorsque les animaux s'approchent des voies peuvent également dans certains cas être envisagés pour pallier l'absence de clôture (cf. fiche n°19).

¹⁷ Des compléments sont disponibles dans le rapport *Clôtures routières et ferroviaires & faune sauvage. Critères de choix et recommandations d'implantation*, Cerema 2019.



La protection d'une route de faible gabarit (bidirectionnelle) n'est généralement pas recommandée. Ponctuellement, elle peut toutefois s'avérer nécessaire pour protéger certaines espèces.

C'est notamment le cas pour la loutre, le castor ou le vison d'Europe au droit des points d'intersection entre les routes et les cours d'eau ou les zones humides qu'ils fréquentent. Ces trois espèces sont en effet particulièrement impactées par les collisions routières avec pour le vison d'Europe, un véritable enjeu de survie des derniers noyaux de population.

Lorsqu'un cours d'eau ou une zone humide fréquenté par l'une de ces espèces est intercepté par une infrastructure, il est ainsi recommandé d'empêcher l'accès à la chaussée pour ces espèces en disposant des clôtures le long et de chaque côté de la route. Il est toutefois indispensable au préalable de s'assurer que ces clôtures soient associées à un ouvrage permettant le franchissement de la route par les espèces toute l'année (ouvrage hydraulique équipé d'un pied sec ou d'une banquette* calée sur le débit décennal, conduit sec).

Les clôtures sont à positionner sur l'ensemble de la zone humide à risque. Lorsqu'il s'agit d'un franchissement ponctuel de cours d'eau, même si la zone humide associée à ce dernier est localisée, la clôture doit couvrir au minimum 50 m de part et d'autre du cours d'eau.

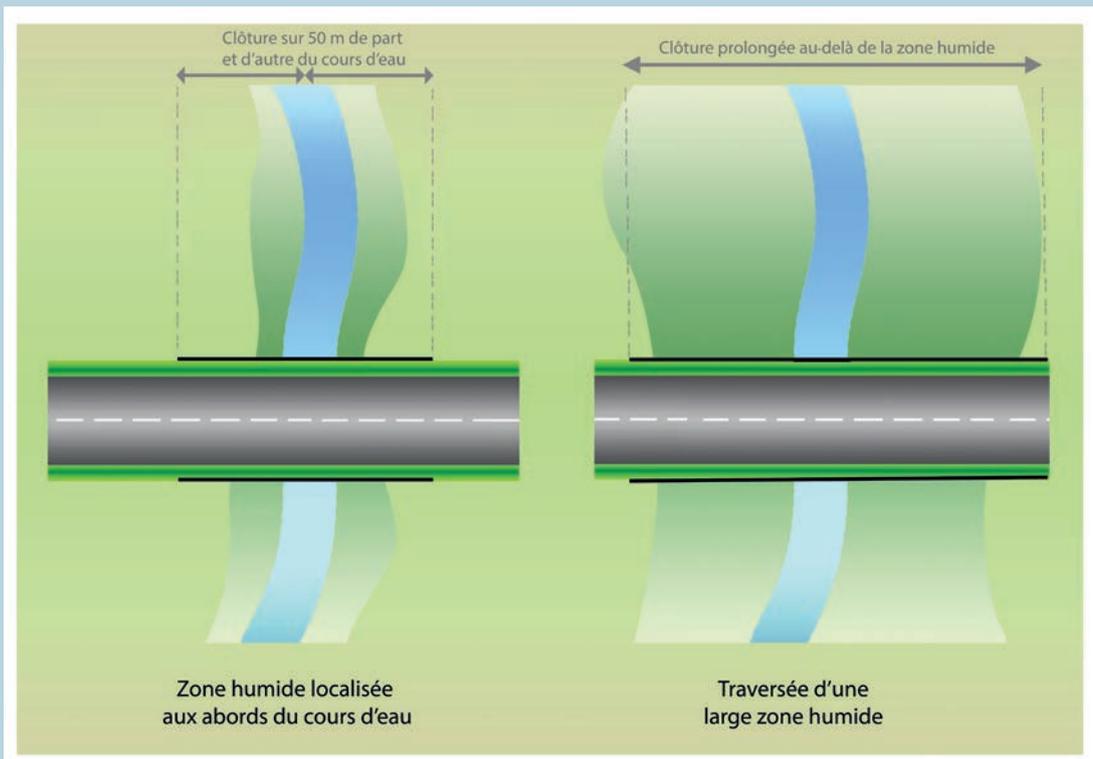


Schéma de principe d'implantation de clôtures pour le castor, le vison d'Europe et la loutre, à proximité d'un passage à faune dédié.
Source : Cerema.

Clôtures et passages pour la faune, deux mesures indissociables

Lorsque les clôtures s'avèrent indispensables et pour limiter l'effet de la fragmentation, il faut maintenir suffisamment de points de passage pour les espèces.

La mise en place de clôtures est donc le plus souvent indissociable de la construction de passages à faune. L'avantage est alors double, car les clôtures permettront à la fois de limiter les collisions et de guider les espèces jusqu'aux points de passages sécurisés.



Bouffard, M., Leblanc, Y., Bédard, Y. & Martel, D., *Impacts des clôtures métalliques et des passages de la faune sur la sécurité routière et le déplacement des orignaux le long de la route 175 au Québec, Le Naturaliste canadien, 2012.*

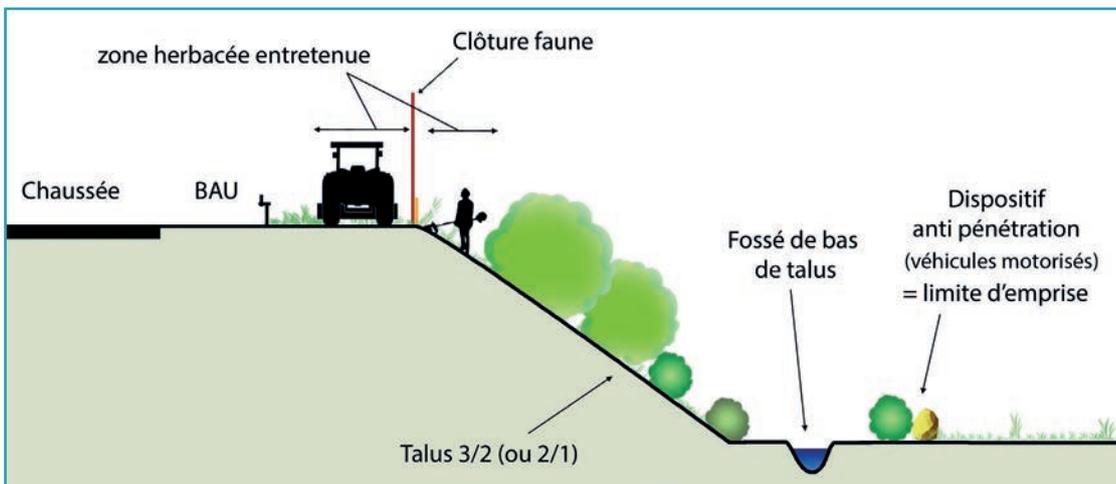
Les suivis faunistiques réalisés au cours de cette étude ont montré que l'installation d'une clôture dans le cadre de l'aménagement de la route 175 sur 67 km a permis de diminuer les occurrences d'orignaux à l'intérieur de l'emprise de plus de 95 %, réduisant la fréquence annuelle des collisions avec des véhicules de 7,5 collisions (en 2006 et 2007) à aucune (en 2008 et 2009) dans la zone clôturée. En parallèle, la fréquentation des passages fauniques par les orignaux s'est accrue de 48 % entre 2009 et 2010 (de 189 à 279 passages).

Une implantation permettant de maintenir l'accès des dépendances à la faune

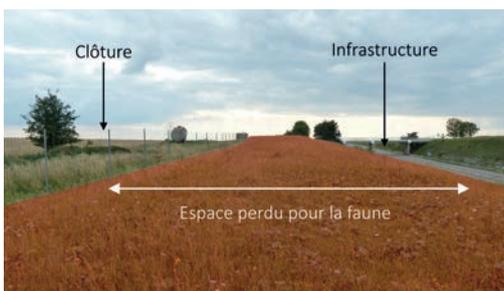
Dans la plupart des cas, les clôtures pour la faune sont implantées en limites extérieures de l'emprise pour faciliter l'exploitation et pour marquer la limite de propriété. Cette disposition a pour conséquences de rendre une grande partie des dépendances vertes inaccessibles à la faune sauvage et de limiter leur valorisation écologique. Elle peut également augmenter

le risque de voir la faune chercher à traverser la clôture pour rejoindre les milieux situés de l'autre côté.

De fait, il est désormais recommandé, lorsque c'est possible, de placer les clôtures pour la faune au plus près de l'infrastructure tout en respectant les contraintes liées à la gestion (entretien, sécurité) (1). En accompagnement, il est conseillé de placer à 0,5 m à l'intérieur de l'emprise un dispositif anti-pénétration (clôture herbagère, blocs rocheux, haie défensive) pour identifier clairement les limites de l'emprise.



1 Position de la clôture en haut de talus permettant d'intégrer les dépendances vertes aux habitats d'espèces et d'assurer une continuité longitudinale naturelle. Source : Cerema.



Clôture positionnée en limite d'emprise empêchant la faune d'accéder aux dépendances vertes. Source : Cerema.



Clôture positionnée au plus proche de la route et permettant le libre accès des dépendances vertes à la faune. Source : Cerema.



Les contraintes liées à la sécurité des usagers imposent une zone de sécurité (plus ou moins grande selon la vitesse autorisée sur l'infrastructure), au sein de laquelle certaines restrictions s'imposent et qui comprend :

- une zone de récupération où tout obstacle* ou équipement est interdit ;
- une zone de gravité limitée où sont interdits les obstacles* qui ne soient pas fusibles (qui ne se déforment pas suffisamment ou ne se brisent pas en cas de choc [moment maximal admissible 570daN.m]), certaines catégories de fossés, un déblai ou un remblai avec une forte pente...

En tant que barrières souples, les clôtures sont donc autorisées dans la zone de gravité limitée. Il faudra toutefois veiller, lorsque l'infrastructure est concernée par des dispositifs de sécurité (glissière métallique, GBA) à laisser une distance de 1-2 m, afin d'assurer la sécurité des personnes venant se mettre à l'abri à l'arrière de ce dispositif.

Dans le cadre du Plan de relance autoroutier, Vinci Autoroutes a mené sur son réseau des actions de requalification* appelées « Corridors ». L'objectif de ces actions est d'ouvrir les dépendances vertes d'une partie de l'autoroute à la faune sauvage (rendre accessible des milieux attractifs pour la faune) en rapprochant les clôtures des chaussées. Une nouvelle clôture dite « grande faune » (mailles progressives soudées de 2 mètres de haut) est mise en place en concertation avec l'exploitant, en prenant en compte les contraintes suivantes :

- largeur de l'emprise du corridor > à 5 m ;
- pas de pose sur forte pente ;
- contraintes d'équipements : panneaux de signalisation, glissières de sécurité, descentes d'eau, fossés, bassins ;
- contraintes d'entretien de la végétation.

L'ancienne clôture est entièrement retirée ou conservée, mais dans ce cas, elle est rendue perméable par ouvertures régulières tous les 100 m et dans les endroits stratégiques (au droit des corridors transversaux, haies, bois, rivières...) et dans les angles.

Dans le cadre de la requalification*, les aménagements particuliers comme la rehausse des portails de service existants ou le retour du grillage sur les ouvrages d'art ont également été nécessaires pour assurer la continuité des hauteurs grillagées.



Exemple de dépendance libérée entre la nouvelle clôture à gauche de l'image et l'ancienne à droite.

Source : Cerema.



Retour sur ouvrage d'art.
Source : Cerema.



Rehausse sur portail de service.
Source : Cerema.



Quelques préconisations à l'approche des ouvrages

À proximité d'un passage à faune, lorsque la clôture n'est pas positionnée dans le prolongement de la tête d'ouvrage (c'est-à-dire comme sur le schéma 1 ci-dessous), elle doit au minimum

former un entonnoir (cf. schéma 2 ci-dessous) pour faciliter le guidage des animaux vers l'entrée de l'ouvrage et diminuer au maximum « l'effet tunnel » ou « couloir » (cf. schéma 3 ci-dessous).



1 Schéma d'implantation des clôtures permettant à la faune d'accéder aux dépendances vertes et d'être guidée jusqu'aux ouvrages de franchissement.
Source : Cerema.



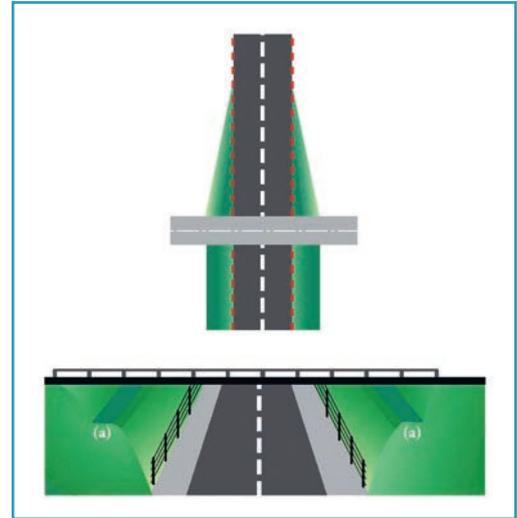
2 Schéma d'implantation des clôtures ne laissant pas les dépendances vertes accessibles à la faune. À l'approche de l'ouvrage, même si les dépendances ne sont pas accessibles, la disposition des clôtures en forme « entonnoir » permet de guider la faune vers l'entrée du passage.
Source : Cerema.



3 Schéma d'implantation des clôtures ne laissant pas les dépendances vertes accessibles à la faune et dont la disposition à l'approche de l'entrée de l'ouvrage crée un effet couloir défavorable au passage de la faune.
Source : Cerema.

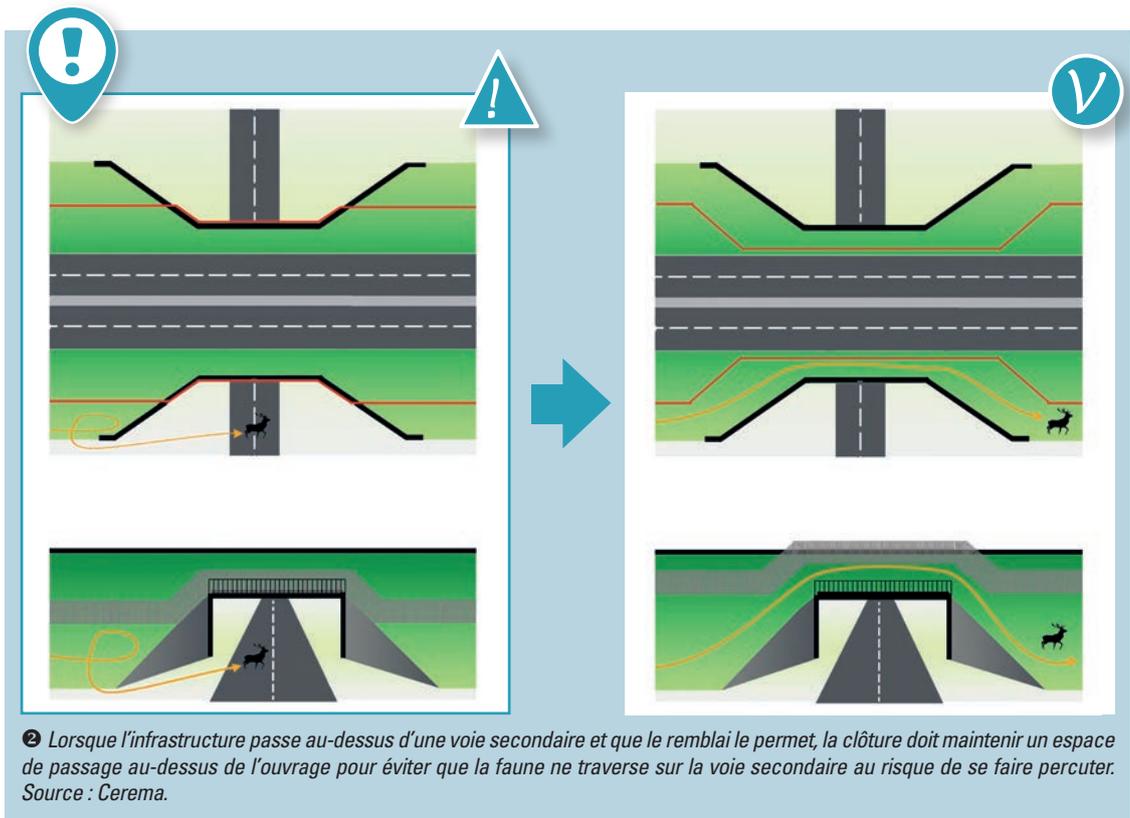
Si la continuité des clôtures est indispensable, il faut également veiller à la continuité des dépendances. Quelques précautions sont ainsi nécessaires lorsque les dépendances croisent, par exemple, une voie secondaire. Dans ce cas,

- lorsque l'infrastructure concernée passe au-dessus de la voie secondaire, on veillera à disposer les clôtures de sorte qu'un passage reste libre entre la clôture et l'ouvrage. Ceci n'est toutefois possible que lorsque l'ouvrage est surmonté d'un remblai suffisant (2) ;
- lorsque l'infrastructure principale passe sous la voie secondaire, pour éviter que le perré* de l'ouvrage ne constitue un obstacle* à la continuité des dépendances, notamment pour la petite faune, il convient de prévoir des emprises supplémentaires entre la base du perré* et la chaussée, ou de créer des faux plats dans les perrés. (3)



(3) Perré de l'ouvrage maintenu franchissable par la faune en positionnant la clôture en bas du perré et en créant des faux plats dans le perré (a).

Source : d'après l'Office fédéral des routes suisses (2000).



(2) Lorsque l'infrastructure passe au-dessus d'une voie secondaire et que le remblai le permet, la clôture doit maintenir un espace de passage au-dessus de l'ouvrage pour éviter que la faune ne traverse sur la voie secondaire au risque de se faire percuter. Source : Cerema.

Points de vigilance pour assurer le maximum d'étanchéité vis-à-vis de la faune

Les clôtures doivent avant tout toujours être installées sur les deux côtés d'une route ou d'une ligne de chemin de fer.

Les défauts de pose et défaillances d'entretien des clôtures constituent les principales sources de dysfonctionnement des dispositifs.

Lors de l'installation, une attention particulière doit notamment être apportée à certains points.

■ Au niveau du pied de clôture

La meilleure façon de rendre infranchissable le pied de clôture est d'enterrer celle-ci sur **30 à 50 cm**. Cette précaution est recommandée pour les clôtures grande faune et indispensable pour les clôtures petite faune.

Lorsqu'il est choisi de ne pas enterrer la partie basse de la clôture (non recommandé), il faut dans ce cas la brocher au sol pour éviter que les animaux fouisseurs ne puissent la soulever et accéder aux emprises. Le type de brochage est à adapter à la pression de la faune présente et à la nature du sol. Un renfort en grillage replié et broché au sol peut également s'avérer nécessaire.



Point d'entrée dans les emprises sur une section de grillage non brochée.
Source : Mathieu Narce, IMPCF.



Grillage à mailles progressives non enterré, non broché et laissant libre accès aux emprises pour la petite faune.
Source : Cerema.

■ Au droit des raccordements aux ouvrages bétonnés ou aux portails d'accès

- Au niveau des passages inférieurs faune, la clôture doit être si possible continue et, dans tous les cas, il faut veiller à ne laisser aucun point d'accès aux emprises. Quand c'est possible (remblai suffisant au-dessus de l'ouvrage) un espace est maintenu au-dessus de l'ouvrage (cf. schéma ❶ du chapitre précédent). Dans le cas contraire, la clôture doit être raccordée à la rambarde du tablier de l'ouvrage ou aux murs en retour (voire prolongée le long), en veillant à l'étanchéité des points d'accroche.
- Il faut aussi veiller à ce que la position des clôtures puisse toujours permettre l'accès à l'entrée des ouvrages, notamment des passages à petite faune.



Clôture grande faune contournant la tête d'ouvrage.
Source : Cerema.



Clôture amphibiens contournant la tête d'ouvrage.
Source : Cerema.



Clôture empêchant la faune d'accéder à l'ouvrage.
Source : Cerema.



Clôture longeant les murs en retour et raccordée à la rambarde de l'ouvrage.
Source : Cerema.

• Les portails et portillons sont très souvent des points d'entrée pour la petite faune qui profite des espaces ouverts entre le sol et le bas du portail. Dans ce cas, il est préconisé d'installer d'une « jupe » en caoutchouc ou d'équiper les entrées d'un seuil en béton ou métallique (4 et 5). Pour les portillons, l'installation de marches d'accès permet également de limiter les possibilités d'entrée pour la faune (6).

Pour les amphibiens, qui ont tendance à longer les clôtures et pour lesquels une ouverture de quelques centimètres suffit à leur passage, il est préférable, au niveau du portail, de mettre en place des caniveaux équipés d'un passage canadien qui leur évite d'accéder au portail où les possibilités d'entrée sont souvent les plus nombreuses. Des pentes douces latérales permettront aux amphibiens de sortir du dispositif (7). Pour les individus arrivant face au portail, un dispositif de rampe doit également les empêcher de grimper sur les grilles du passage canadien jusqu'au portail (8 et 9).



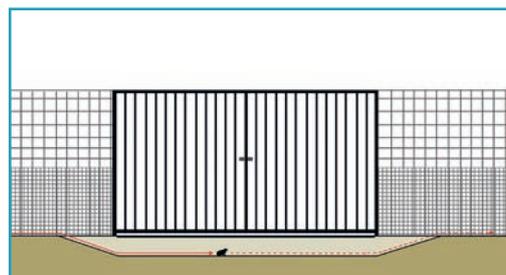
6 Portillon équipé de marches d'accès pour limiter les possibilités d'entrées pour la faune. Source : A. Clevenger.



4 Portail équipé d'une « jupe ». Source : Cerema.



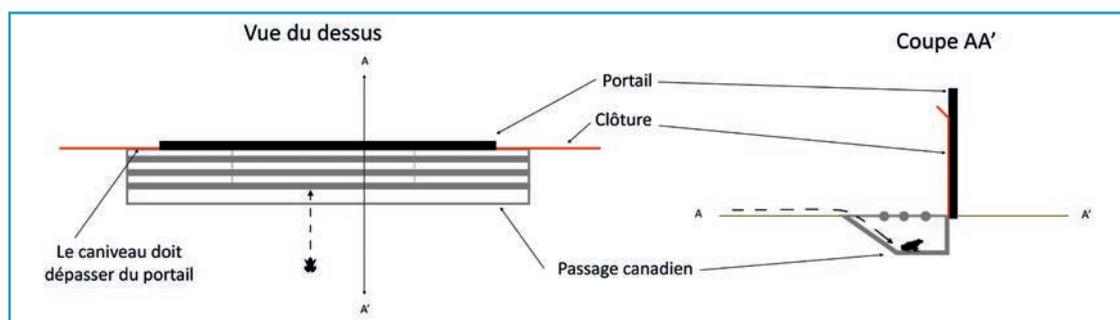
5 Portail équipé d'un seuil béton. Source : Vinci Autoroutes/Réseau ASF.



7 Schéma d'implantation d'un caniveau au droit d'un portail. Source : Cerema.



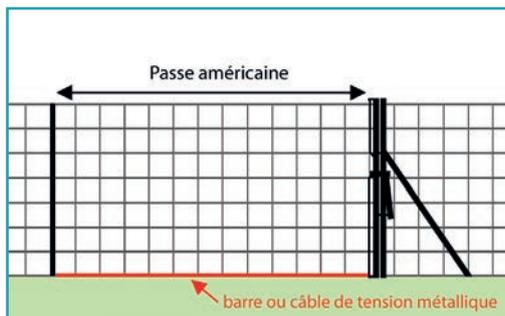
8 Caniveau en pente. Source : D'Agostino/Écosphère.



9 Représentation schématique d'un dispositif de passage canadien équipé d'une rampe pour empêcher l'accès des amphibiens. Source : Cerema.



- Pour les « passes américaines » (10), il est préconisé de réaliser :
 - soit un caniveau (cf. précédemment) lorsque des amphibiens sont concernés,
 - soit un seuil béton accompagné au pied de la passe, au plus près du sol, d'une barre ou d'un câble de tension métallique (11).



11 Représentation schématique d'une passe américaine équipée d'un câble ou d'une barre de tension métallique. Source : Cerema.



10 Passe américaine correctement clôturée mais ne présentant toutefois pas de seuil béton ni de barre ou câble de tension. Source : JBS Métallerie.



Espace disponible sous le portail permettant le passage de la petite faune. Source : Cerema.



Raccord du grillage à l'ouvrage non adapté laissant à la faune le libre accès aux emprises. Source : Cerema.



Clôture mailles fines discontinue permettant l'accès aux emprises pour les amphibiens au droit du portail. Source : Cerema.





Mauvais raccordement de la clôture qui passe sous l'ouvrage et diminue l'espace disponible pour la faune.
Source : Cerema.



Ouverture dans la clôture laissant l'accès aux emprises.
Source : Cerema.

■ Au niveau des franchissements de fossés

Lorsque la clôture est franchie par un fossé, la continuité des clôtures peut être assurée par différents types de dispositifs :

- les grilles de fossés : pour la grande faune, l'espacement des barreaux ne doit pas être supérieur à 12 cm. Les barreaux peuvent être horizontaux pour limiter les embâcles. Lorsque ces dispositifs doivent également assurer une protection contre la pénétration de la petite faune, elles doivent être recouvertes d'un grillage petite faune (12). Elles peuvent également être basculantes (à sens unique de l'amont vers l'aval)



12 Exemple de dispositifs mis en place pour assurer la continuité des clôtures : grille amovible sur fossé. Source : Cerema.

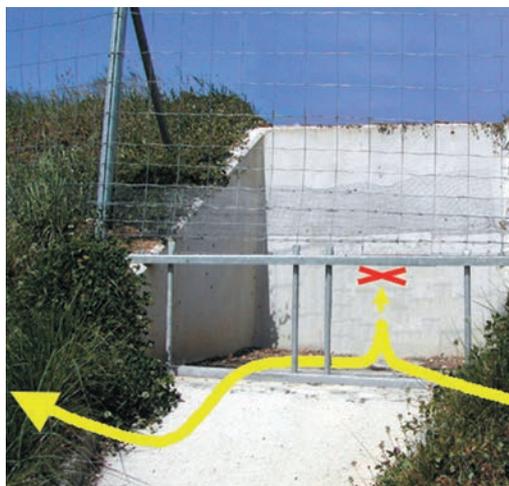
pour éviter les embâcles et faciliter le nettoyage. Dans ce cas, la charnière doit permettre un soulèvement à la moindre pression et la pente doit être suffisante pour assurer un effet chasse d'eau.

Lorsque des risques d'embâcles sont trop élevés, on préfère toutefois l'utilisation de clapets antiretour (13) ou de seuil (14 page suivante) ;

- les clapets ou plaque basculante antiretour sont des obturateurs qui laissent s'écouler l'eau tout en empêchant la faune de passer ;
- les seuils correspondent à des fosses de 60 à 80 cm de profondeur qui constituent une barrière pour les plus petits animaux dont les capacités de saut sont limitées.



13 Clapet antiretour sur descente d'eau empêchant la faune d'accéder aux emprises. Source : P. Fournier, GREGE.



14 Raccordement sur ouvrage bétonné.
 Source : P. Fournier GREGE.



Dispositif de clôture discontinue constituant un point d'entrée pour les plus petits animaux (amphibiens).
 Source : Cerema.

■ Au droit des voies d'accès aux emprises

De la même manière, les voies d'accès à une infrastructure clôturée constituent des points d'entrée pour la faune. Pour limiter les possibilités d'accès, on peut mettre en place un passage canadien (15) : c'est un dispositif de 2 à 3 m de large constitué d'une fosse de 30 à 50 cm de profondeur recouverte d'une structure métallique. En France, ils sont réservés à la voirie secondaire. Installé sur une route, un chemin, au niveau des portes et portails de services, il permet la circulation continue des véhicules et des piétons tout en empêchant le passage des animaux (les animaux ne posent pas leurs pattes sur une surface installée au-dessus du vide).

La claire-voie (la grille) est réalisée à l'aide de rouleaux métalliques (ou barreaux fixes) espacés de 8 à 10 cm.

Quelques recommandations :

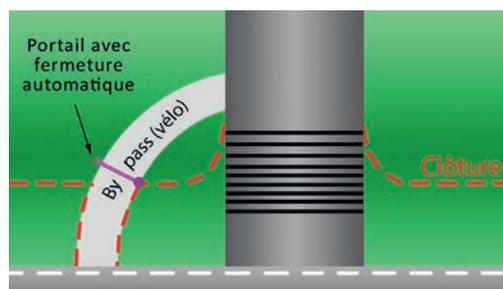
- prévoir une évacuation de l'eau dans la fosse ;
- prévoir une échappatoire pour la petite faune tombée accidentellement : l'aménagement d'ouvertures associées à des rampes placées dans le prolongement de la clôture permet aux animaux de circuler le long de la voie sans pouvoir pénétrer dans les emprises et de s'échapper de la fosse en cas de chute ;
- assurer un entretien régulier.



15 Grille canadienne installée pour empêcher la faune d'accéder à l'infrastructure depuis une voie secondaire.
 Source : Cerema.



16 Portail piéton dont les gonds sont décalés (plus proche du poteau en bas qu'en haut) pour qu'il se referme automatiquement sans intervention.
 Source : Cerema.



17 By-pass et portillon pour les vélos et piétons.
 Source : D. Chevalier, SETRA.



Remarque : dans certains cas, le danger que peut représenter la grille canadienne pour les cyclistes, motos ou piétons conduit à abandonner ce type d'aménagement, mais il existe des solutions qui permettent de s'affranchir de ce risque de chutes : signalisation, by-pass avec portail (16 et 17 page précédente).



Le prix d'un passage canadien galvanisé est en partie fonction de l'usage et notamment du poids des véhicules susceptibles de franchir le dispositif. Un système de 3 ou 4 m x 2 m galvanisé permettant le franchissement des 4 roues peut ainsi atteindre 3 000 à 5 000 €.

■ Le long des échangeurs et des extrémités

Les échangeurs et les extrémités constituent également des points d'accès pour la faune. Pour limiter les accès, même si l'étanchéité totale sur une infrastructure routière n'est pas envisageable, il est recommandé :

- aux extrémités :
 - de raccorder la clôture à une structure de franchissement (pont, viaduc...),
 - de prolonger la clôture avec un minimum de 500 m au-delà du point de franchissement, en s'assurant de terminer la clôture sur une section droite à grande visibilité et d'être accompagné de panneaux de signalisation ;



Exemple d'implantation des clôtures au droit d'un échangeur.
Source : Google Earth/Cerema.

- au droit des échangeurs :
 - de remonter la clôture le long des voies d'accès des échangeurs.

■ Au droit des bassins d'assainissement

Les dépendances peuvent intégrer un certain nombre d'équipements liés à l'exploitation de la route ou de la voie ferrée qui, lorsqu'ils présentent des milieux favorables, sont susceptibles d'attirer un certain nombre d'espèces faunistiques. C'est en particulier le cas des bassins de traitement des eaux de chaussée sur les infrastructures routières, qui sont souvent colonisés par les amphibiens, les oiseaux et un grand nombre d'insectes, comme les libellules. Pour les mammifères terrestres, l'accès est par contre plus difficile, car ces bassins sont nécessairement clôturés pour des raisons de sécurité. Il faut toutefois veiller à assurer l'étanchéité pour les animaux fouisseurs (renfort au sol).

Pour les petites espèces aquatiques qui peuvent y accéder, ces espaces peuvent potentiellement jouer un rôle de refuge et participer à la fonctionnalité des continuités écologiques notamment de type « pas japonais »¹⁸.

Il semble toutefois qu'une mortalité chronique due aux effets mutagènes des hydrocarbures ne soit pas à exclure, notamment pour les amphibiens. Il est donc difficile d'évaluer la notion de coût/bénéfice de ces milieux aménagés pour les espèces.

De manière générale, il est donc préconisé, lorsque c'est possible, une succession de deux types de bassins (18 page suivante) :

- un bassin technique (16) pour le traitement (dimensionné pour une pluie de retour deux ans sur deux heures) qui permet de stocker une pollution accidentelle et de traiter la pollution chronique (hydrocarbure...) et saisonnière (sel). Ce bassin avec fond béton est clôturé pour empêcher les amphibiens de pénétrer (muret béton, métallique, plastique) et rendu peu favorable à la faune. Ce bassin est également à équiper d'échappatoires pour les individus ayant malgré tout réussi à y pénétrer ;

¹⁸ Succession de milieux favorables à une espèce qui, bien que distants les uns des autres, restent suffisamment proches pour que l'espèce se déplace de l'un à l'autre et forme ainsi pour elle un corridor discontinu.

- un bassin de stockage des pluies ⁽²⁰⁾ (dimensionné pour compléter le volume jusqu'à la pluie décennale) avec des zones maintenues en eaux (surcreusement ou remontée du point d'exutoire) et qui reste accessible aux amphibiens (installation de la seule clôture de sécurité qui reste franchissable par les amphibiens). Bien qu'ils constituent des équipements techniques, ces bassins peuvent être valorisés pour certaines espèces faunistiques dans le cadre des mesures de compensation du projet.

Lorsque cette solution n'est pas retenue et qu'un seul bassin (assurant le traitement et la régulation hydraulique) est construit, il est par contre proposé :

- de rendre inaccessible le bassin aux amphibiens, s'il subsiste des habitats de reproduction relativement proches et du même côté de l'infrastructure ;
- de laisser libre l'accès à ce bassin aux amphibiens, dans les zones où les milieux de substitution sont rares ou absents et où des populations d'amphibiens n'ont pas été recensées à proximité.



⁽¹⁹⁾ RN 59 section Saint-Clément Azerailles. À droite sur la photo, le bassin de traitement est clôturé pour être inaccessible aux amphibiens, alors que le bassin de rétention situé à gauche de l'image leur est accessible (clôture perméable aux amphibiens). Source : Cerema.



⁽²⁰⁾ Bassin de traitement équipé de clôtures amphibiens. Source : Cerema.



⁽²⁰⁾ Bassin de rétention accessible aux amphibiens. Source : Cerema.

Lorsque les bassins sont clôturés, l'étanchéité doit être maximale, sans quoi les défauts de conception sont vite exploités par les amphibiens qui colonisent alors rapidement les milieux. Afin d'assurer un maximum d'étanchéité, l'on préférera l'utilisation de barrières continues en béton, métal ou plastique

lisse, en partie enterrées et équipées d'un rabat. Au niveau du portail, il est préférable plutôt qu'une « jupette » en caoutchouc, de mettre en œuvre un caniveau équipé d'un passage canadien (cf. précédemment « Au droit des raccordements aux ouvrages bétonnés ou aux portails d'accès »).



Bassin de traitement équipé d'une barrière béton avec des ouvertures laissant le bassin libre d'accès aux amphibiens. RD 1004 (Bas-Rhin). Source : Cerema.



Ouverture dans le dispositif constituant un point d'entrée. Source : Cerema.

Des dispositifs pour permettre à la faune de sortir des emprises : les échappatoires

Les emprises d'une infrastructure, même lorsqu'elles sont clôturées, ne sont jamais totalement étanches et il arrive régulièrement que certains individus parviennent à y pénétrer, malgré le dispositif. C'est notamment le cas au droit de certains points d'entrée qu'il n'est pas possible de clôturer totalement (échangeur) ou lorsque des ouvertures sont créées dans la clôture par l'animal lui-même (ex. : sanglier qui soulève le bas de la clôture), par la chute d'un arbre, par un engin d'entretien, un accident de la circulation ou encore un acte de vandalisme.

Une fois à l'intérieur des emprises, leur retour est alors plus compliqué et ils n'ont pas toujours la possibilité de s'en échapper. Parmi les espèces susceptibles de pénétrer dans les emprises, les espèces de grande taille (blaireaux, cerfs, sangliers, chevreuils...) constituent alors un risque pour la sécurité des usagers (véhicules ou trains). Pour permettre à ces individus de regagner le milieu extérieur plus facilement, il est ainsi préconisé de mettre en place des échappatoires de façon régulière le long des clôtures. Les échappatoires sont des dispositifs unidirectionnels qui permettent à la faune uniquement de quitter les emprises sans pouvoir y accéder ou revenir. La fréquence et le positionnement sont à adapter selon l'analyse du contexte naturel et la configuration des clôtures. Dans certaines zones favorables, les échappatoires peuvent être plus fréquents ou au contraire plus éparses si le milieu présente moins de risques.

Plusieurs dispositifs existent :

■ Système de trappes basculantes ou de portes

Ce dispositif est constitué d'une trappe mécanique plus ou moins grande en fonction de l'espèce cible (sanglier, blaireau) à sens unique, qui ne s'ouvre que de l'intérieur vers l'extérieur des emprises et qui se referme automatiquement après le passage de l'animal (effet du poids, mécanisme sous tension) (21, 22 et 23 page suivante). Ce dispositif nécessite de mettre en place un radier* béton ou un seuil pour éviter que les espèces venant de l'extérieur ne puissent creuser sous la trappe et pénétrer dans les emprises. Si la trappe est constituée d'un grillage, les mailles de ce dernier doivent être de taille identique à la clôture sur laquelle il se raccorde.

Lorsque ces dispositifs sont utilisés, ils doivent toutefois être accompagnés d'un entretien particulièrement soigneux, car l'expérience a montré qu'ils peuvent, à terme, se gripper, rester ouverts et avoir l'effet contraire de celui recherché en créant un point d'entrée supplémentaire.

Il existe également des dispositifs équipés d'une double trappe associée à un sas. Ce sas est posé dans les emprises au bout d'un couloir grillagé parallèle aux clôtures faune. Au repos, les deux trappes d'entrée sont relevées. Lorsque l'animal entre dans le sas, il actionne la fermeture des deux battants et l'ouverture simultanée d'un panneau latéral qui permet sa fuite hors emprise. Ce dispositif est très efficace, mais nécessite d'être réarmé à chaque fois qu'un animal le déclenche. Il est donc généralement associé à un système de détection pour avertir l'exploitant du nécessaire réarmement (24 page suivante).



21 « Sangli-pass ». Source : Cabinet X-Aequo.



22 Échappatoire, réseau Vinci Autoroutes. Source : Cerema.



23 Échappatoire petite faune aux Pays-Bas. Source : Cerema.



24 Système à double trappe. Source : Cabinet X-Aequo.

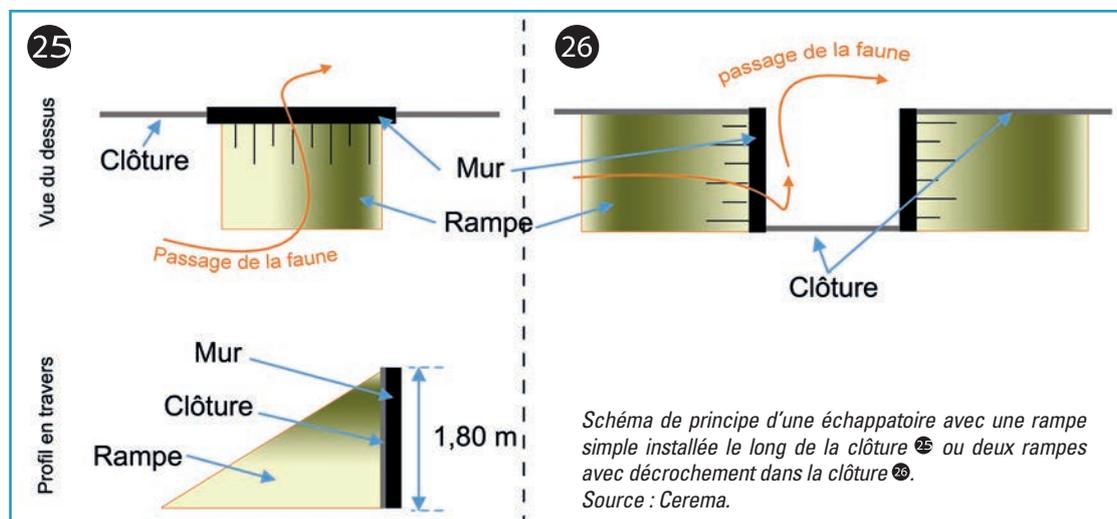
■ Système de rampe

Il s'agit d'un dispositif constitué d'une paroi verticale (mur en bois imputrescible ou béton) de quelques mètres de largeur et sur laquelle est adossée, côté infrastructure, une rampe en terre en pente douce jusqu'au sommet de la clôture, sur laquelle la faune va pouvoir monter puis sauter pour sortir des emprises.

Le dispositif est placé dans la continuité de la clôture (25) ou en effectuant un décrochement avec la clôture (26) pour favoriser son utilisation par la faune qui longe le grillage pour chercher une sortie.

Ces dispositifs sont à installer de préférence dans des secteurs à faible risque de sortie de route éventuelle d'un véhicule auquel cas, la rampe peut constituer un tremplin pour ce véhicule et potentiellement aggraver un éventuel accident. Côté milieu naturel, la hauteur minimale pour la grande faune du surplomb de l'échappatoire devra être de 1,8 m portée à 2 m en cas de présence de cerfs.

€ Le prix d'une rampe peut varier de 5 000 à 10 000 € en fonction du type et du contexte.





Le coût de ce type d'aménagement est de l'ordre de 5 000 € à 10 000 €, en fonction du dimensionnement, de la technique et des difficultés de mise en œuvre sur le site.



Échappatoire avec un système de rampe simple (Pays-Bas).
Source : Vinci Autoroutes.

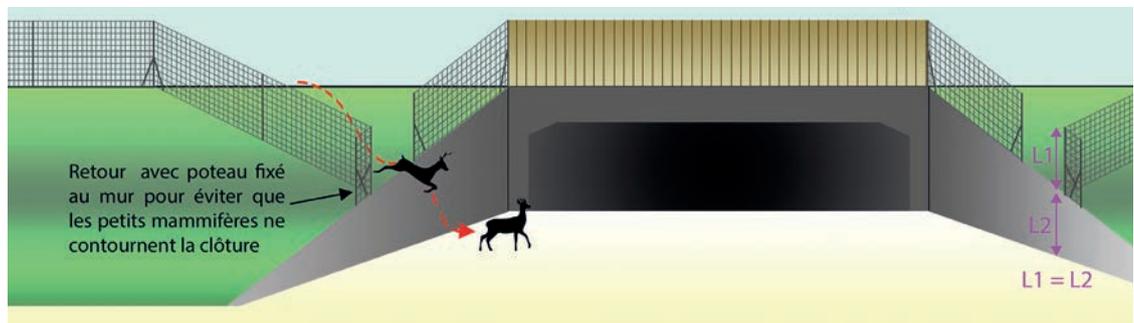


Échappatoire avec double rampe (Pays-Bas).
Source : Cerema.

■ Dispositif de sortie au droit des ouvrages

Lorsqu'un ouvrage inférieur dispose de murs en aile, il est possible en haut des murs de laisser une ouverture dans la clôture pour permettre à la faune de sortir des emprises. Il est cependant nécessaire de veiller à ne pas créer un point d'accès supplémentaire

pour la faune en réalisant cette ouverture, par rapport au pied du mur, à une hauteur (L2 sur le schéma ci-dessous) au moins égale à la hauteur de la clôture (L1 sur le schéma ci-dessous). Un retour de la clôture le long du mur et une fixation des poteaux à ce dernier éviteront également aux petits mammifères de contourner la clôture.



Exemple schématique de l'aménagement d'un système échappatoire au niveau des murs en aile d'un ouvrage inférieur.
Source : Cerema.

■ Aménagements complémentaires

Pour renforcer l'efficacité de ces dispositifs, on veille à installer l'échappatoire dans un coin de la clôture (27) ou

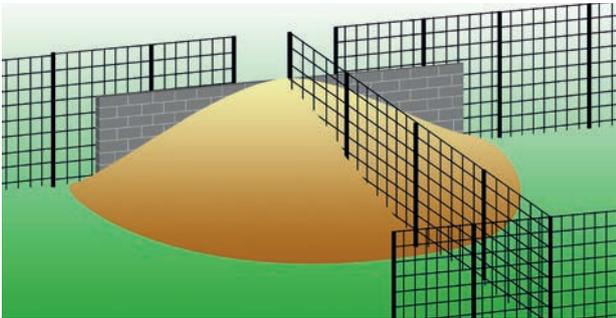
à l'associer avec un système de guidage de type entonnoir (28) ou perpendiculaire au dispositif de sortie (29).



27 Système « Sangli-pass » installé dans un coin de la clôture.
Source : Cabinet X-Aequo.



28 Installation de 2 clôtures guides vers le dispositif.
Source : IMPCF.



29 Schéma d'une clôture guide perpendiculaire à la rampe.
Source : Cerema.



Trappe accompagnée d'une clôture guide.
Source : Vinci Autoroutes/Réseau ASF.



Cas particulier des bassins d'assainissement

Dans les cas des bassins à parois verticales en béton ou bassins équipés d'une géomembrane non revêtue de terre végétale de type grillage en plastique sont préconisés pour éviter aux animaux de se noyer, en leur permettant de sortir de l'eau par leurs propres moyens.

Grillage plastique permettant une accroche pour les pattes de certains animaux.
Source : Cerema.



Les types de clôtures ou de barrières en fonction des cortèges d'espèces¹⁹

Les clôtures

Leurs caractéristiques (hauteur, mailles, poteaux) dépendent des enjeux locaux et des espèces ciblées pour lesquelles :

- la hauteur doit être suffisante pour les empêcher de sauter par-dessus ;
- la taille et la solidité des mailles doivent les empêcher de passer à travers.

■ La hauteur

De manière générale, le choix, et notamment la hauteur, est déterminé en premier lieu en fonction des plus grands mammifères susceptibles d'être concernés (ex. : pour le chevreuil, 2 m). Cette hauteur doit être constante dans le sens de l'approche des animaux (du milieu extérieur vers l'infrastructure)

et doit tenir compte de la configuration du terrain (cf. schéma page suivante).

Les enjeux avifaunistiques ou chiroptérologiques peuvent également, de façon ponctuelle, conduire à choisir des clôtures de plus grande hauteur (4 m) pour forcer les espèces à voler au-dessus du flux de véhicules.

■ Le maillage

Certaines espèces de la grande faune sont puissantes et déterminées. Les clôtures doivent donc être suffisamment solides et persister dans le temps pour les arrêter. Il est ainsi conseillé de choisir une clôture à maille rectangulaire nouée dont le fil, en matériaux inoxydables (mailles rectangulaires galvanisées), présente un diamètre d'au moins 2,5 mm.

¹⁹ Voir également la publication *Clôtures routières et ferroviaires & faune sauvage. Critères de choix et recommandations d'implantation*, Cerema 2019.

Le grillage doit si possible être fixé à l'extérieur des poteaux (c'est-à-dire côté extérieur des emprises) notamment pour être le plus résistant possible vis-à-vis de la faune qui chercherait à pénétrer dans les emprises depuis l'extérieur.

La dimension des mailles est déterminée par la taille des animaux que l'on veut stopper et leur capacité à se faufiler entre. Elle doit également tenir compte des juvéniles pour que ceux-ci ne puissent pas, seuls, franchir la clôture. Pour les aménagements routiers et ferroviaires, la largeur standard des mailles (écartement des fils) est généralement de l'ordre de 15 cm, car c'est en premier lieu les plus grands mammifères que l'on souhaite empêcher de traverser.

Lorsqu'il est également nécessaire d'éviter la pénétration des plus petits animaux (hérissons, mustélidés*...), des dispositions complémentaires sont par contre nécessaires. Il s'agira alors :

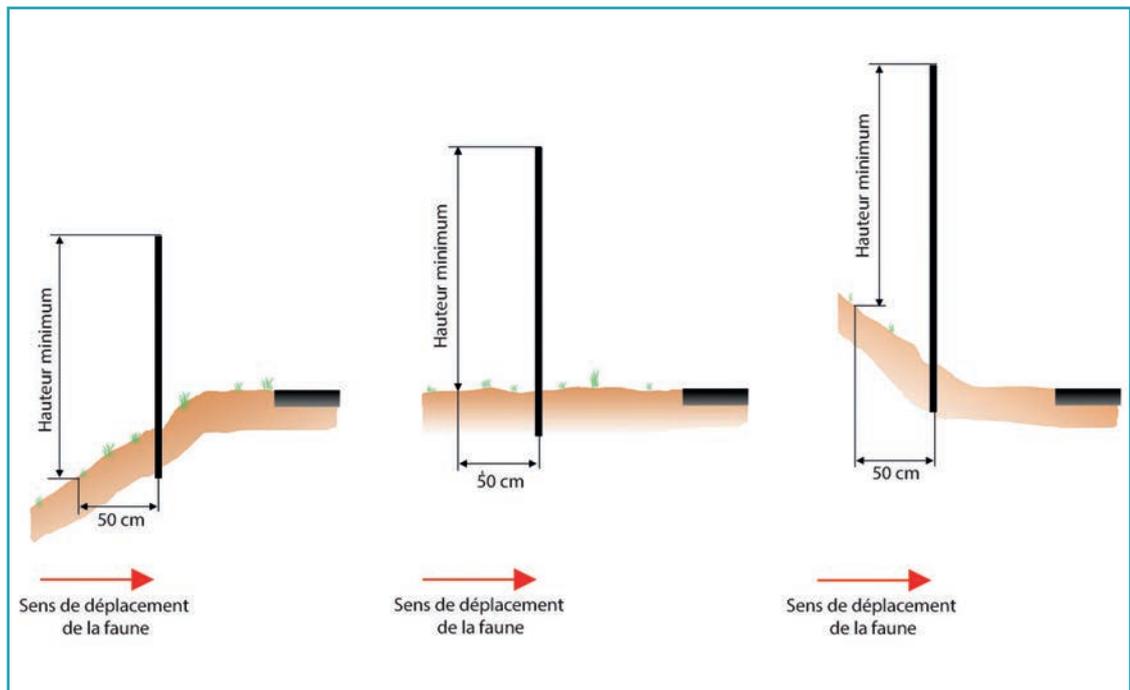
- soit d'utiliser des clôtures à mailles progressives c'est-à-dire des clôtures de grande hauteur, mais possédant sur leur partie inférieure (1/2 ou 1/3 de la hauteur) des mailles de plus petites tailles

(distance entre les fils horizontaux progressive de 5 à 15 cm de bas en haut). C'est généralement le type de clôture qui est recommandé sans enjeu particulier sur le linéaire ;

- soit d'adosser à la clôture standard (côté extérieur), une seconde clôture dont la hauteur (60 cm à 1 m) et la taille des mailles seront définies en fonction des espèces que l'on souhaite arrêter. Elle devra en général être enterrée pour plus d'efficacité (sur 20 à 50 cm) et éventuellement former un L vers l'extérieur lorsque des espèces fouisseuses sont concernées (20 cm vertical, 30 cm horizontal plié vers l'extérieur).

Pour certaines espèces, le sommet de la clôture devra former un bavolet de 10 à 20 cm avec un angle de 45° vers l'extérieur pour éviter que les espèces ne puissent grimper et franchir la barrière.

Sauf configuration particulière (ex. : migration* très diffuse des amphibiens sur une grande distance), les dispositifs de clôture ne sont pas recommandés pour les amphibiens et les reptiles pour lesquels on préférera des murets (métallique, plastique ou béton) avec bavolets (cf. chapitre suivant).



Détermination de la hauteur minimale de la clôture selon la configuration du terrain.

Source : d'après Norme SNV 640693 de l'Union des professionnels suisses de la route.



Groupe d'espèces cibles	Clôture petite faune					Clôture grande faune			Faune volante	
	Amphibiens, reptiles, hamster, belette	Lapin, lièvre	Petits mustélidés* (vison, putois, fouine, hermine...) sauf belette Campagnol amphibie	Autre petite faune : renard, blaireau, loutre, castor, hérisson ...	Spécifique félinés		Sanglier	Chevreuil		Cerf Daim
	Privilegier les bordures lisses lorsque les enjeux sont importants et localisés				Chat forestier	Lynx boréal				
Hauteur [Hors-sol]	60 cm (1 m pour le hamster, la belette)	60 cm	1 m	1 m	1,8 m	2 m	1,4 à 1,6 m	2 m	2,1 à 2,4 m	4 m
Type de clôture recommandé	Clôture en placage sur le grillage grande faune, treillis soudé à mailles régulières sur toute la hauteur		Clôture à treillis soudé à mailles régulières. Seule (possible pour le vison d'Europe, le putois) ou en placage sur le grillage grande faune	Clôture à treillis soudé à mailles régulières. Seule (possible pour la loutre, le castor, le hérisson) ou en placage sur le grillage grande faune	Clôture à treillis noué et à mailles régulières (MR)		Clôture à treillis noué ou soudé, à mailles régulières (MR) ou progressives (MP)			Clôture à treillis noué et à mailles régulières (MR)
Taille des mailles	H = l = 6,5 mm	H = l = 1 à 3 cm	H = l = 2 à 2,5 cm	H = 5 cm en fonction de la taille des espèces l = 1 à 15 cm au choix (si treillis soudé) sinon < 5 cm	H = l = 3 cm	H = l = 3 cm	MP : l = 10 à 15 H = 5 cm en bas à 10 x 20 cm au sommet MR : l = 15 cm H = 5 cm	MP : l = 10 à 15 H = 5 cm en bas à 10 x 20 cm au sommet MR : l = 15 cm H = 15 cm	MP : l = 10 à 15 H = 5 cm en bas à 10 x 20 cm au sommet MR : l = 15 cm H = 15 cm	3 à 5 cm
Accessoire	Rabat 10 cm		/	/	Rabat de 20 cm	Rabat de 50 cm	/	/	Éventuellement bavolet de 40 à 60 cm	/
Implantation	Enterrée de 30 cm	Enterrée de 40 cm en forme de L (20 cm + 20 cm)	Enterrée de 30 cm	Enterrée de 30 à 50 cm pour les animaux fouisseurs	Enterrée de 30 cm	Enterrée de 30 cm	Enterrée de 30 à 50 cm ou posée au sol et brochée avec un fil de ronce	Enterrée de 30 à 50 cm ou posée au sol et brochée	Enterrée de 30 à 50 cm (notamment si présence du sanglier) ou posée au sol et brochée	Posée au sol (ou enterrée) ou brochée si autres groupes)

Remarque : les différents types de clôtures (A, B, C, D, E, F) sont précisés sur le schéma page suivante.

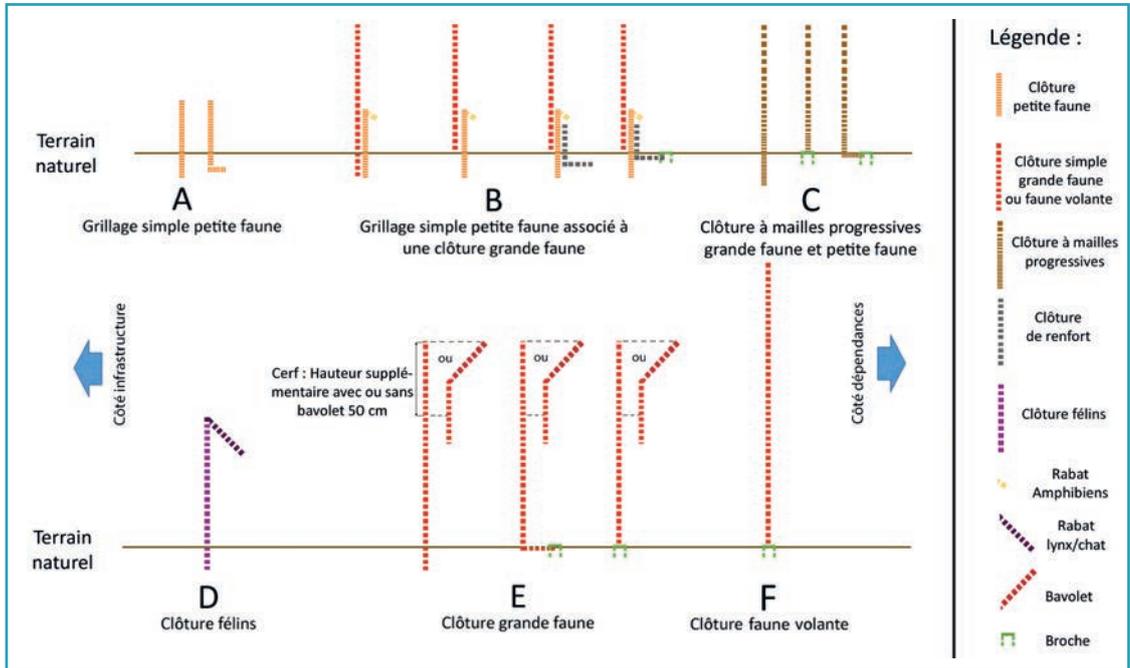


Schéma de l'ensemble des catégories de clôtures. Source : Cerema.



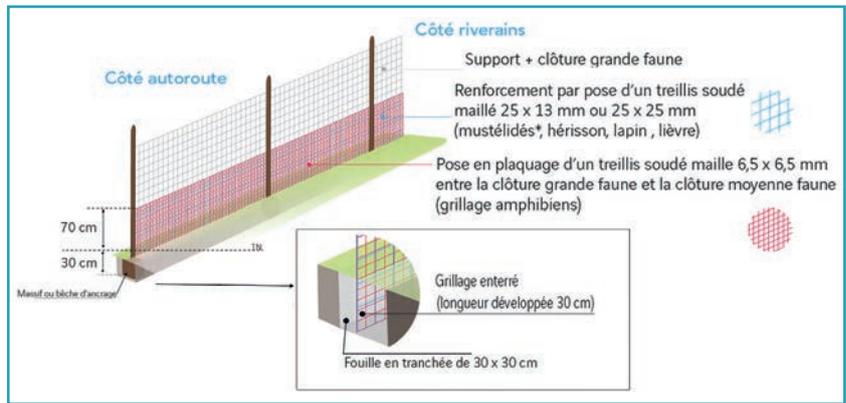
Exemple de clôture à mailles fines adossée à une clôture grande faune à mailles progressives. LGV Est. Source : Cerema.



Exemple de clôture grande faune à mailles progressives. RD 16 (CD57). Source : Cerema.



Exemple de clôture avec bavolet pour le lynx. Autoroute B10, Allemagne. Source : Cerema.



Exemple de clôture associant une clôture grande faune, un grillage en treillis soudé pour la petite faune et un treillis soudé mailles fines pour les amphibiens. Source : Vinci Autoroutes.



Coût indicatif (fourniture et pose hors coût des ouvrants, des grilles, etc.) de quelques catégories de clôtures (note d'information *Clôtures routières et ferroviaires & faune sauvage*, Cerema, 2019) :

- clôture standard grande faune 1,8-2 m : 35 à 50 € HT/ml ;
- clôture petite faune 1,4 m (maille soudée 25 x 25 ou 25 x 13 mm) : 10 à 20 € HT/ml ;
- clôture batraciens (maille 6,5 x 6,5 mm) : 12 à 20 € HT/ml.

Les barrières petite faune

Dans certaines situations ou pour certaines espèces de la petite faune, il est préférable de remplacer les clôtures par des dispositifs non ajourés (voir également chapitre sur les dispositifs amphibiens). Il s'agit pour la plupart :

- soit de murets béton (1), béton polymère (2) ou de cornières métalliques (3) présentant un retour au sol (légèrement incliné vers l'extérieur pour évacuer l'eau) de plusieurs dizaines de centimètres (placé côté extérieur à l'infrastructure) dont l'intérêt est à la fois de faciliter la durabilité,



1 Bordure béton. Source : Maibach.



2 Bordure en béton polymère.
Source : Commission Environnement, Commune d'Ahuy.



3 Bordure métallique surmontée d'une clôture faune.
RD16 (CD57). Source : Cerema.

la pose et l'entretien et qui constituent, à leur base, une bande dégagée facilitant le déplacement des espèces. Ces dispositifs sont pour la plupart composés d'un assemblage d'éléments préfabriqués posés sur un lit de pose compacté non gélif de 10 à 20 cm d'épaisseur. Certaines barrières en béton peuvent également être coulées sur place. La hauteur de ces dispositifs est de l'ordre de 40 à 60 cm (avec rabat de 10 cm minimum), mais dans des situations plus spécifiques, ces bordures peuvent nécessiter des hauteurs plus importantes (80 cm à 100 cm pour la loutre, le vison ou les serpents) ;



Les doubles glissières comme barrière faune

Dans quelques cas, la mise en place d'un grillage ou d'un autre type d'obstacle* n'est pas envisageable (contraintes d'exploitation notamment), il est alors possible pour empêcher certaines espèces de franchir l'infrastructure de mettre une double glissière (4).

Pour le castor, la loutre ou encore le vison d'Europe, cette solution peut donner de très bons résultats, car elle crée un obstacle* visuel. Elle a les avantages d'être pérenne dans le temps et nécessite moins d'entretien qu'un grillage. Dans le cas du vison d'Europe, l'étanchéité au sol devra être travaillée pour ne pas laisser d'espace supérieur à 2 cm. Attention à prendre attache avec le service chargé de la sécurité routière, qui dans certains cas est réticent à les autoriser, considérant qu'un organe de sécurité ne doit pas servir à la faune.



4 Double glissière jouant le rôle de barrière.
Source : Grège



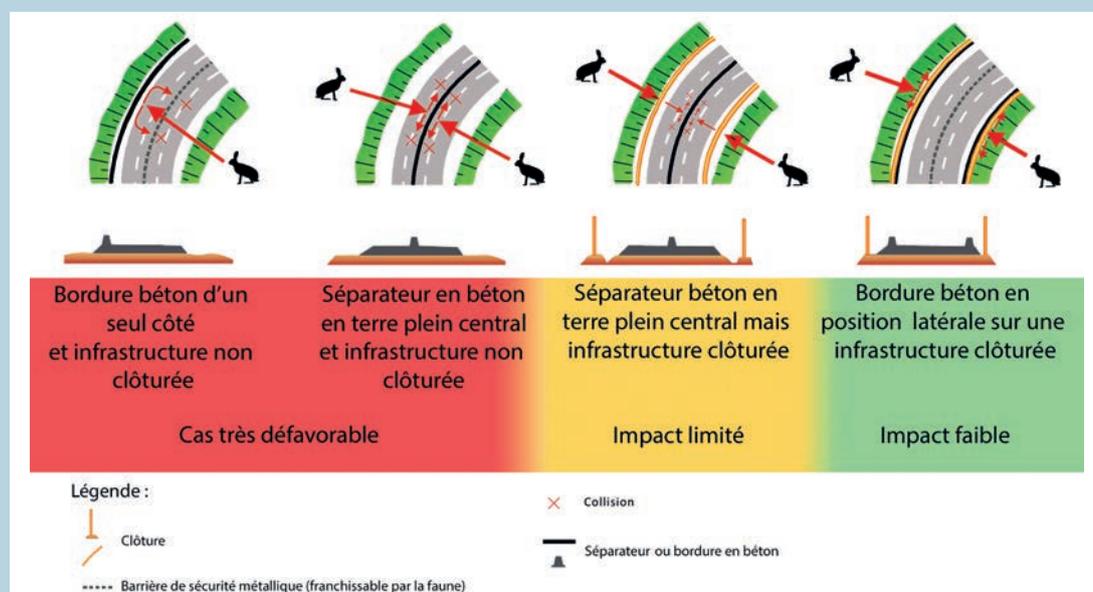
Problématique des DBA (séparateurs doubles en béton adhérent) et des risques de collisions de la petite faune

Pour faciliter l'entretien et limiter les interventions, les glissières métalliques de sécurité installées au niveau du terre-plein central des infrastructures (2x2 voies ou plus) sont de plus en plus souvent remplacées par des DBA (double glissière béton adhérent). Si ces dispositifs, de par leur solidité, ont des avantages en termes d'entretien, ils constituent cependant, avec une hauteur de 80 cm, de véritables barrières pour les petits animaux qui tentent de traverser la route. Bloquée au centre de la chaussée, la petite faune a alors tendance à longer la DBA sans pouvoir trouver d'échappatoire et finit le plus souvent victime de collisions.

Cette situation conduit, d'un point de vue faunistique, à recommander d'éviter l'utilisation des DBA au niveau du terre-plein central (TPC) et de lui préférer un dispositif de glissières métalliques pour séparer les sens de circulation.

Si le choix d'installer une DBA est toutefois retenu, il est impératif, quelles que soient les caractéristiques de la route (existante, neuve), d'associer celle-ci à des dispositifs empêchant l'accès de la petite faune à la chaussée (clôtures spécifiques, séparateurs simples en béton adhérent (GBA) en bordure de chaussées). À ce sujet, une attention particulière doit être portée aux anciennes infrastructures qui, bien souvent, n'ont jamais été clôturées et qui, lorsqu'elles sont nouvellement équipées de DBA, ne bénéficient pas de mesures d'accompagnement spécifiques pour la faune.

Les dispositifs anti-intrusion n'étant jamais totalement étanches, notamment pour les plus petits animaux, il est également recommandé, lorsque les DBA sont positionnées au droit du terre-plein central, de créer des ouvertures dans ces dispositifs (type assainissement : 30 cm x 6-8 cm) tous les 3 m (entraxe minimum autorisé) pour laisser une chance de traverser aux plus petits animaux ayant réussi à s'introduire dans les emprises. Des ouvertures (« interruption de terre-plein central », ITPC) protégées par des glissières métalliques peuvent également être prévues à intervalles réguliers, mais la mise en place de tels systèmes est règlementée et complexifie le dispositif.



Impact différencié sur la faune selon la position des glissières de sécurité en béton GBA (séparateur simple en béton adhérent) ou DBA (séparateurs doubles en béton adhérent). L'effet de barrière et le risque de collisions ne sont pas les mêmes selon la position de la glissière et la présence ou l'absence de clôtures. Source : Jean Carsignol.



Pour les barrières métalliques de 40 cm de haut avec mise en place préalable d'un lit de pose compter 100 à 130 € HT/ml.
Le coût des murets béton est de l'ordre de 150 à 200 € HT/ml.

• soit des dispositifs en plastique sur lesquels les retours d'expérience sont toutefois peu nombreux. Il semble que ces dispositifs soient assez fragiles à l'écrasement lorsqu'ils sont autoportants et ne permettent généralement pas une utilisation comme structures de soutènement des bas-côtés de l'infrastructure ou du bas de talus. Toutefois, adossés à des dispositifs de clôtures (ex. : barrière plastique + clôture grande faune), ils constituent une protection efficace et infranchissable pour les cortèges de petits animaux (amphibiens, insectes terrestres...).

Le plastique PEHD (polyéthylène haute densité) a notamment pour avantage de constituer une barrière souple, donc non cassante (à l'inverse des plastiques durs) et lisse. Cette dernière caractéristique est particulièrement intéressante pour les animaux qui ont des capacités de grimpe élevées (ex : lézards, tortues) et pour lesquels les dispositifs classiques de clôture sont peu efficaces (1). Adossés à des clôtures, ces dispositifs ont enfin pour avantage de laisser les individus sortir des emprises, puisqu'ils peuvent de ce côté toujours grimper à la clôture (2) ;



Barrière en polyéthylène haute densité accolée à une clôture. Source : Animex Fencing.



Pour les barrières plastiques (polyéthylène haute densité) accolées aux clôtures, il faut compter pour 1 000 ml un coût de 20 à 35 € HT/ml (coût de la fourniture du matériel seul de l'ordre de 10 €/ml).



Utilisation de barrières en PEHD pour traiter un point noir de collision pour la loutre et le vison d'Europe

Dans le cadre des mesures compensatoires de la LGV SEA Tours-Bordeaux incluant la requalification* pour le vison d'Europe de 79 ouvrages répartis sur 5 bassins versants, des barrières en PEHD ont été mises en œuvre par COSEA en partenariat avec le GREGE et les associations naturalistes locales, sur trois franchissements routiers. Ce sont ainsi plus de 400 mètres linéaires qui ont été posés pour servir de protection anticollision en faveur du vison d'Europe et de la loutre. Ces dispositifs ont montré un réel intérêt en termes de facilité d'implantation, de coût et, à ce stade, aucun désagrément n'a été constaté, trois ans après l'installation.



Source : GREGE.

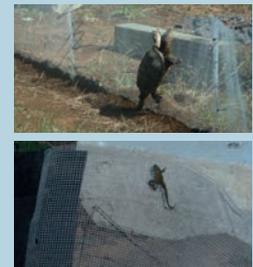
Étude comparative de l'efficacité des dispositifs de barrières plastiques et de clôtures mailles fines pour l'herpétofaune* lorsqu'elles sont utilisées comme mesures d'atténuation pour réduire la mortalité routière, John C. Milburn-Rodríguez et al., 2018.

Pour suivre le comportement des espèces face aux barrières, les individus des espèces ont été placés dans un enclos fermé de 25 m. Les côtés de cet enclos ont été équipés pour moitié avec du grillage mailles fines et l'autre moitié avec une barrière en plastique solide (Animex). L'étude a été réalisée dans le Parc naturel Scale, dans l'Ontario, au Canada.

L'étude a permis d'analyser le comportement de 17 serpents (2 espèces), 20 grenouilles (2 espèces) et 14 tortues (2 espèces).

Les résultats ont montré :

- que les individus des différentes espèces ont passé plus de temps dans la zone équipée de clôtures que dans la zone équipée de barrières en plastique. Ce résultat tend à montrer que, confronté à une structure plastique, les individus seraient plus enclins à se déplacer et finalement atteindraient plus rapidement les passages à faune ;
- que tous les groupes étudiés ont montré 40 % de tentatives d'évasion en plus, en sautant ou en grimpant à la clôture qu'à la barrière plastique ;
- qu'alors qu'aucune espèce n'a réussi à franchir la barrière plastique, toutes les espèces ont réussi à franchir la clôture à l'exception d'une espèce de tortue.



Source : Animex.

- des dispositifs en béton polymère recyclé ou en plastique recyclé sont également proposés sans que l'on ait de retour sur leur fiabilité ;



Bordure en plastique recyclé. Autoroute B10, Allemagne.
Source : Cerema.



Bordure incurvée en plastique recyclé.
Source : Groupe ACO.



- les barrières en bois bien qu'elles soient esthétiques et économiques sont à éviter en projet neuf, sauf cas particulier, car elles résistent mal et finissent par présenter des points d'entrée pour la faune. Pour autant, pour insérer des protections

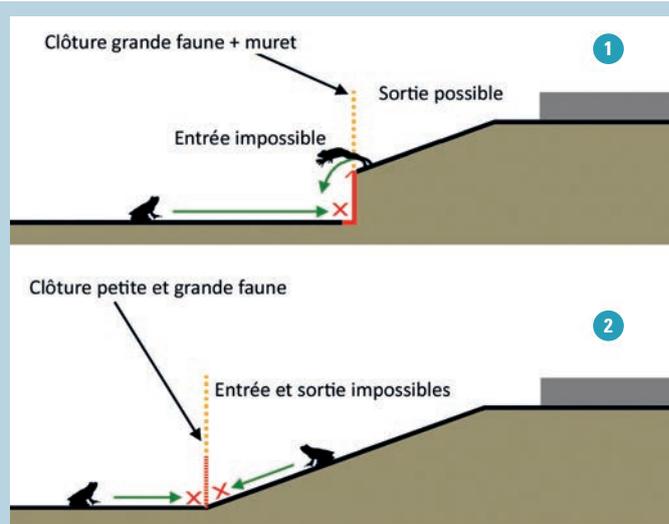
sur des routes existantes sur lesquelles les emprises sont très contraintes, elles peuvent répondre aux besoins. Elles permettent également dans certaines situations de faciliter la mise en œuvre d'échappatoires (cf. encart suivant).



Les dispositifs de barrières, lorsqu'ils sont suffisamment résistants, peuvent servir de dispositifs de retenue des remblais sur leur hauteur (environ 50 cm). Une telle configuration permet à la faune ayant pénétré dans les emprises d'en sortir facilement, alors que l'inverse reste compliqué (1).

Avec un dispositif constitué d'une clôture petite et grande faune, l'entrée comme la sortie sont difficiles (2).

Ces dispositifs peuvent être mis en œuvre dans le cadre de projet neufs comme en requalification* (cf. ci-dessous).



Source : Cerema.



Source : GREGE.

L'exemple ci-contre montre l'aménagement conçu par le GREGE et COSEA lors de la mise en place de près de 8 km de protections en faveur du vison d'Europe. Les sections de routes ont ainsi été équipées de palissades pour empêcher les visons d'Europe et les loutres d'accéder à la chaussée et les canaliser vers les ouvrages.

Des points d'entrée à la chaussée ne pouvant être protégés, des échappatoires ont été installées pour permettre la sortie rapide d'un animal ayant réussi à pénétrer sur la chaussée. Ces échappatoires, réalisées sur une dizaine de mètres en face des points d'entrée potentiels, l'ont été en remblayant avec des matériaux drainants le côté routier de la palissade, jusqu'à ce qu'il ne reste plus que 20 cm à franchir. Après deux années de suivi de la mortalité, aucun cadavre, de quelque espèce que ce soit, n'a été trouvé sur les sections ainsi protégées.



Bordure en plastique rigide cassante, non adaptée au domaine routier. Source : Cerema.



Les dépendances vertes

L'aménagement des dépendances vertes en faveur de la biodiversité* et la constitution de véritables dépendances longitudinales s'appuie sur différentes recommandations.

- 1 Modeler les abords de la voie pour constituer une zone de déplacement favorable pour la faune**
 - Création d'un merlon protecteur pour séparer/masquer le déplacement des espèces du flux de circulation.
 - Risberme dans les forts déblais pour faciliter le déplacement de la faune.
- 2 Créer un aménagement végétal favorable et adopter une gestion adaptée**
 - Plantations ou régénération arbustive naturelle permettant de constituer des zones refuges et de déplacement de la faune.
 - Gestion écologique.
- 3 Multiplier les capacités d'accueil de la faune en créant des habitats diversifiés (andains*, amas de branches, hibernaculums*...)**
- 4 Mettre en place un dispositif de protection (clôtures, barrières) empêchant la faune d'accéder à l'infrastructure tout en laissant libre accès aux dépendances**
 - Positionner les clôtures et les barrières au plus proche de l'infrastructure.
 - Assurer le maximum d'étanchéité des dispositifs de protection (enterrer les clôtures, éviter les points d'entrée au droit des raccordements avec les ouvrages, portails...).
 - Choisir des dispositifs adaptés aux cortèges d'espèces en présence.
- 5 Prévoir des échappatoires afin que la faune ait toujours la possibilité de sortir des emprises**



COMMENT ASSURER L'EFFICACITÉ DES MESURES DANS LE TEMPS : ENTRETIEN, SUIVIS

FICHES

- 22 Comment entretenir les passages à faune ?
- 23 Comment assurer le suivi des passages à faune ?

Comment entretenir les passages à faune ?

L'entretien ou la gestion de son patrimoine quel qu'il soit (routier, ouvrages d'art, naturel...) est le gage d'une conservation en bon état dans le temps, garantissant également son efficacité. Il est donc particulièrement important d'entretenir et de gérer les aménagements durablement en vérifiant, par exemple, que l'ouvrage ne soit pas détourné de sa fonction initiale.

Il est souhaitable que le maître d'ouvrage définisse dès l'enquête d'utilité publique à quelle entité il souhaite confier la maintenance ultérieure des ouvrages (entretien en régie, association, voire entreprise).

Quelques rappels réglementaires

L'obligation d'entretien a été posée par les textes de manière générale (notamment par le Code de la voirie routière). Ainsi, le responsable du réseau routier (État, collectivité locale, gestionnaire d'autoroute) est responsable de l'entretien du réseau routier ainsi que des conséquences dommageables pouvant résulter du défaut d'entretien, parmi lesquelles les conséquences sur la sécurité des usagers. La jurisprudence est venue compléter et préciser cette obligation générale d'entretien posée par les textes et reconnaît à l'encontre du responsable de réseau routier une obligation **d'entretien normal** des voies.

Près des massifs forestiers abritant de la grande faune et dans les zones où le passage des grands animaux est habituel, cette obligation d'entretien normal des voies comprend :

- au minimum, sur chacune des voies, le balisage des zones de danger ;

- sur autoroute uniquement, l'aménagement de ces zones afin d'éviter le risque de collisions.

À ce jour, aucune réglementation nationale générale n'impose au responsable du réseau routier la pose de clôtures en tant que telle le long des voies de circulation.

Concernant les voies ferrées, le gestionnaire doit maintenir la sécurité des circulations, leur régularité, l'accessibilité aux secours et la conservation de l'infrastructure ferroviaire. Ainsi, la végétation doit être maîtrisée au niveau de la voie, de la piste, des bandes de proximité, des abords et de certaines zones sensibles au risque d'incendie.

S'agissant des ouvrages de franchissement pour la faune, l'entretien est une obligation au titre du Code de l'environnement*, afin qu'ils puissent rester fonctionnels.

Entretien de l'ouvrage et de ses abords immédiats

L'entretien des passages pour la faune est de la responsabilité du gestionnaire de l'infrastructure. Il nécessite des précautions spécifiques selon leur taille et les espèces cibles, mais certaines considérations sont valables quels que soient les ouvrages. Afin de s'assurer des bonnes pratiques sur le long terme, la mise en place d'un plan de gestion des ouvrages est parfois opportune.

Surveillance des plantations les premières années

Les premières années, les plantations nécessitent une surveillance étroite notamment en raison des conditions climatiques et du risque de présence d'espèces exotiques envahissantes. Ainsi, une fois les plantations (novembre-mars) et les semis (septembre-mars) effectués, un constat d'exécution des prestations végétales est à réaliser dans les dix jours après les plantations.

Avant de réceptionner définitivement les travaux, il est nécessaire d'attendre deux saisons de végétation (environ 21 mois après le constat d'exécution des prestations végétales).

Lors de la première année (n+1), les premiers constats de reprise sont à faire à l'automne (octobre) et donnent lieu, le cas échéant, au remplacement des végétaux morts (novembre-décembre). L'année n+2, un deuxième constat de reprise est à réaliser à l'automne (octobre), suivi le cas échéant, par le remplacement des végétaux morts (novembre-décembre), puis par le constat final de réception²⁰.

Entretien courant

Une surveillance régulière est nécessaire pour vérifier que l'environnement de l'ouvrage ne subit pas de modifications importantes qui pourraient remettre en cause la bonne utilisation

par les animaux (défrichage de parcelles boisées voisines, empierrement de l'ouvrage pour faciliter son utilisation par les engins agricoles, forestiers ou particuliers – engins tout terrain ou autres –, clôtures aux entrées pour des raisons agricoles ou cynégétiques*...).

L'entretien des ouvrages est à la charge du maître d'ouvrage, il peut néanmoins se rapprocher de structures associatives qui peuvent, selon une convention à établir, s'assurer d'une gestion optimale pour la faune et la flore en particulier sur les passages toute faune et les passages spécialisés (amphibiens).

L'utilisation de moyens pédagogiques ou juridiques en amont permet également de limiter les mesures correctives. Ainsi, une communication adaptée sur les fonctions des ouvrages auprès des riverains (panneaux informatifs à demeure ou animations pédagogiques régulières) peut permettre de limiter les incivilités (cf. chapitre « S'assurer d'une bonne acceptation sociale », fiche n° 4).

■ Sur les passages toute faune

Certaines modalités constructives des passages toute faune (en particulier les passages supérieurs) sont de nature à faciliter l'entretien sur le long terme. L'objectif général est de minimiser les besoins d'entretien de la végétation sur les ouvrages, afin de limiter les dérangements. Ainsi, un fauchage tardif annuel des surfaces herbacées et des recépages occasionnels des arbres et arbustes sont le plus souvent suffisants. Sur les passages inférieurs, l'importance des interventions est généralement plus limitée de par l'absence ou la rareté de la végétation sous l'ouvrage.

■ Pour les passages petite faune

Les passages de petite taille sont particulièrement vulnérables et leur efficacité peut être remise en cause du fait d'un mauvais entretien.

²⁰ Retours d'expérience des aménagements et des suivis faunistiques sur le réseau Vinci Autoroutes, juin 2016.

Ainsi, le développement excessif de la végétation aux entrées peut rendre l'ouvrage inaccessible. Certains conduits peuvent être obstrués par des embâcles (terre, branchages, éboulements...) ; un entretien annuel est donc un minimum. Pour cela, il est parfois nécessaire d'avoir recours à des engins mécanisés pour dégager les entrées et éventuellement à des jets haute pression pour déboucher les conduits. Les périodes et techniques d'intervention devront par ailleurs tenir compte des espèces potentiellement présentes et de leur écologie (reproduction, ponte, hibernation...).

Les passages spécialisés peuvent nécessiter des interventions plus régulières. Ainsi, pour les amphibiens, il est préconisé d'intervenir deux fois par an : avant la migration* pré-nuptiale en février et à l'automne.

Des visites annuelles sur les passages à faune doivent également être l'occasion de vérifier et d'entretenir les divers aménagements complémentaires (mares, andains*, dispositifs anti-intrusions...).

Les clôtures au droit de l'ouvrage

Les clôtures représentent un élément complémentaire et indispensable au bon fonctionnement des passages, car elles assurent le guidage des animaux vers ce dernier. Elles doivent également être surveillées régulièrement et notamment au droit des raccords avec l'ouvrage, qui sont des points faibles potentiels. Ainsi, une visite de contrôle annuelle permet de repérer les éventuelles défaillances et de les réparer.



Entretien du passage à amphibiens de la réserve nationale du Grand Lemps. Source : Cerema Centre Est - V. Billon.

..... Entretien des dépendances vertes

Entretien de la végétation

La gestion extensive des dépendances vertes permet de concilier préservation de la biodiversité* et limitation des coûts d'entretien. Elle doit désormais être la règle, dès lors qu'elle est compatible avec les obligations de sécurité sur l'ensemble des dépendances des réseaux d'infrastructures et de manière encore plus prégnante au droit des passages rétablissant des corridors écologiques. L'entretien est fonction des modalités de gestion extensive retenues.

Dans la moitié sud de la France, il faudra également veiller à tenir compte des obligations légales de débroussaillage liées à la lutte contre les incendies de forêt. Ainsi, toute brèche observée doit être colmatée.

Entretien des clôtures

L'efficacité d'une clôture dépend de son entretien régulier. Ce dernier inclut le nettoyage et les réparations des dégradations naturelles ou volontaires. Il accroît la longévité du dispositif, mais évite aussi que la responsabilité du gestionnaire de la voie ne soit engagée en cas d'accident impliquant la faune sauvage.

Ces brèches sont le plus souvent liées :

- à la destruction de la clôture lors d'un accident de la circulation ;
- à la végétation qui pousse sur les clôtures et qui finit par faciliter les possibilités de grimpe de la faune ;
- à l'affaissement des dispositifs par le poids de la végétation ou la chute d'arbres ;

- à la dégradation lors du passage des engins d'entretien, voire des exploitants agricoles par l'extérieur des emprises ;
- à la détérioration par la faune (sanglier, blaireau...)
- à l'impact des crues et de certains épisodes climatiques ;
- à des incendies de forêts ;
- à l'érosion des sols dans le cas de contextes de pose contraignants (pentes).



*Clôture amphibie affaissée par le poids de la végétation.
Source : Cerema.*



*Clôture dégradée lors d'un accident de la circulation.
Source : Cerema.*

Avant que les ronciers ou les branches ne pèsent trop sur le haut de la clôture et ne finissent par l'affaisser, la végétation qui borde les clôtures doit être entretenue. Il est nécessaire de s'orienter vers un entretien mécanique du pied de clôture :

- côté infrastructure avec un dégagement manuel sur 1 m à 1,5 m environ (débroussaillage à pied d'homme avec une débroussailleuse portée) ou 2 m à 3 m avec une épareuse ;
- côté extérieur sur seulement 50 cm à 1 m, afin d'éviter la dégradation du grillage par les ligneux (2 m si l'entretien s'effectue avec un engin) tout en assurant une certaine protection vis-à-vis des grands mammifères.

Les jambes de force doivent préférentiellement être placées dans l'alignement de la clôture pour ne pas compliquer les tâches d'entretien.

À l'image des points de raccordements aux ouvrages, les raccordements de la clôture avec les équipements spéciaux (portail...) demandent



*L'absence d'entretien de la clôture côté extérieur de l'emprise ne permet pas de la maintenir en bon état.
Source : Cerema.*



une surveillance particulière, car ils représentent des points de fragilité potentiels.

En dehors des interventions nécessaires aux réparations constatées au cours de l'entretien courant de la voie, une inspection des linéaires de clôtures doit être envisagée tous les ans.

Comment assurer le suivi des passages à faune ?

Quelques généralités, rappels réglementaires et méthodologiques

Les textes **réglementaires définissent le cadre général** des dispositifs de suivi des différentes mesures :

L. 122-1-1 I du Code de l'environnement* : « La décision de l'autorité compétente est motivée au regard des incidences notables du projet sur l'environnement. Elle précise les prescriptions que devra respecter le maître d'ouvrage ainsi que les mesures et caractéristiques du projet, destinées à éviter ou réduire et, si possible, compenser les effets négatifs notables. Elle précise également les **modalités du suivi** des incidences du projet sur l'environnement ou la santé humaine » ;

R. 122-5 II du Code de l'environnement : « L'étude d'impact doit comporter les éléments suivants [...] : 9° Le cas échéant, les **modalités de suivi** des mesures d'évitement, de réduction et de compensation proposées » ;

R. 122-13 II du Code de l'environnement : « [...] Le **dispositif de suivi** est proportionné à la nature et aux dimensions du projet, à l'importance de ses incidences prévues sur l'environnement ou la santé humaine ainsi qu'à la sensibilité des milieux concernés. »

Dans la **doctrine nationale**²¹, la référence aux modalités de suivi est ainsi énoncée : « À partir des propositions du maître d'ouvrage, l'acte d'autorisation fixe les modalités essentielles et pertinentes de suivi de la mise en œuvre et de l'efficacité des mesures. Des indicateurs doivent être élaborés par le maître d'ouvrage et validés par l'autorité décisionnaire pour

mesurer l'état de réalisation des mesures et leur efficacité. Le maître d'ouvrage doit mettre en place un programme de suivi conforme à ses obligations et proportionné aux impacts du projet. »

Les **lignes directrices**²², quant à elles, abordent les suivis en tant qu'indicateurs de résultats : « L'efficacité de chaque mesure est évaluée par un programme de suivi (suivant les modalités fixées par l'acte d'autorisation sur la base des propositions du maître d'ouvrage), c'est-à-dire par une série de collectes de données répétées dans le temps qui renseignent des indicateurs de résultats. Ces suivis permettent une gestion adaptative orientée vers les résultats à atteindre. »

Il est également important de noter que le maître d'ouvrage a une obligation de restitution de bilan (R. 122-13 II du Code de l'environnement*) : « Le suivi de la réalisation des prescriptions, mesures et caractéristiques du projet destinées à éviter, réduire et compenser les effets négatifs notables de celui-ci sur l'environnement et la santé humaine mentionné au I de l'article L. 122-1-1 ainsi que le suivi de leurs effets sur l'environnement font l'objet d'un ou de plusieurs bilans réalisés sur une période donnée et selon un calendrier que l'autorité compétente détermine, afin de vérifier le degré d'efficacité et la pérennité de ces prescriptions, mesures et caractéristiques. Ce ou ces bilans sont transmis pour information par l'autorité compétente pour prendre la décision d'autorisation, aux autorités mentionnées au V de l'article L. 122-1 qui ont été consultées ».

²¹ Relative à la séquence Éviter, réduire et compenser les impacts sur le milieu naturel (mars 2012).

²² Lignes directrices nationales sur la séquence Éviter, réduire et compenser les impacts sur le milieu naturel, (octobre 2013).

Suivis de l'efficacité d'une mesure

La suite du chapitre est consacrée au suivi de l'efficacité des mesures en faveur du déplacement de la faune. Il détaille les différentes étapes pour réaliser un suivi adéquat.

Décrire de manière détaillée la mesure associée à un ou des objectif(s) précis clairement formulé(s)

Cette description et la définition des objectifs de la mesure sont des préalables indispensables pour parler d'efficacité. En effet, sans ces précisions, seule la notion d'utilisation (« est-ce que le passage est utilisé par la faune ? ») peut être appréciée.

La construction d'ouvrages de transparence écologique sur les infrastructures de transport s'est en effet accompagnée par un très grand nombre d'études sur l'utilisation de ces structures, en enregistrant le plus souvent essentiellement le nombre de franchissements d'animaux. Les études ont ainsi montré qu'un large éventail d'espèces utilisaient plus ou moins les ouvrages pour traverser la route. Ces dernières ne suffisent toutefois pas pour évaluer l'efficacité des ouvrages, c'est-à-dire, pour savoir si ces mesures répondent à l'objectif précis de maintien des flux d'espèces faunistiques en lien avec des objectifs donnés.

Dans un premier temps, les objectifs de la mesure doivent ainsi être précisés. Par exemple, pour une espèce cible donnée :

- le passage doit permettre des déplacements quotidiens entre des habitats de repos et les sites de nourrissage ;
- le passage doit permettre des déplacements saisonniers entre les sites de repos et les sites de reproduction ;
- le passage doit permettre des déplacements occasionnels, afin de permettre le brassage génétique entre des sous-populations vivant en métapopulations* ;
- plus globalement à l'échelle d'un projet, la perméabilité globale de l'infrastructure doit permettre le maintien de la population.

Ainsi, il est important de réaliser un état initial afin d'assurer la justesse et la pertinence des étapes situées en aval, en particulier la définition des impacts du projet et le suivi des mesures. En effet, ce suivi n'a de sens que relativement à une situation initiale qu'il faut donc caractériser le plus précisément possible, par rapport aux impacts potentiels du projet.

Les recommandations méthodologiques pour élaborer un état initial peuvent être consultées dans la fiche n° 10 des *Lignes directrices* ERC (CGDD, 2013). Cette fiche reprend des notions importantes telles que la définition des aires d'études, les périodes propices aux inventaires de terrain, les descriptions des espèces et les cartographies attendues.

Élaborer et mettre en œuvre un programme et un protocole de suivi

L'essentiel :

- déterminer les techniques spécifiques à l'habitat et/ou à l'espèce, au groupe d'espèces ciblées et proportionnées aux enjeux ;
- mettre en œuvre la collecte des données aux périodes propices, à la fréquence adéquate et pendant une durée suffisante ;
- synthétiser et analyser les données au regard de l'état initial, des actions de gestion menées sur la période considérée et de l'objectif à atteindre.

La définition des **objectifs du suivi** est un préalable indispensable au choix du protocole (durée, espèces visées, configuration de l'ouvrage, acquisition de données spécifiques (nombre de traversées, horaires, individualisation, comportement, budget disponible...).

Le choix du **dispositif de suivi** doit être étudié avec attention en fonction des **objectifs de suivi** et des caractéristiques de l'ouvrage en lien avec les objectifs de la mesure.

Dans un premier temps, le type d'information à collecter est orienté par l'objectif du suivi :

- évaluation de la fréquentation d'un passage : nécessite la collecte d'un maximum de données de passage (nombre de passages et nombre d'espèces utilisant l'ouvrage). Pour caractériser l'utilisation de l'ouvrage et pouvoir notamment comparer les ouvrages entre eux, l'utilisation devra être exprimée en termes de taux de franchissement, c'est-à-dire le nombre de traversées d'une espèce par unité de temps (ou de surface pour les espèces se déplaçant peu : taux de performance par espèce) ;
- évaluation du comportement de la faune face à l'ouvrage : afin d'apprécier ce comportement, les dispositifs (piège photo/vidéo) sont orientés sur l'élément à étudier (entrée d'ouvrage, clôtures) ;
- évaluation de l'efficacité d'un passage sur le maintien des populations.

Ce point n'est pas abordé ici, car il relève davantage du domaine de la recherche (étude des populations). À ce niveau, l'étude de l'efficacité d'une mesure nécessite en effet un niveau d'investigation bien plus poussé, dans le sens où elle nécessite un plan d'échantillonnage spatial et temporel adapté sur un nombre d'espèces qui sera à déterminer. Une étude de type BACI (Before, After, Control, Impact) où les données sont collectées avant et après les mesures de réduction, à la fois sur les ouvrages, mais également sur plusieurs sites de référence (semblables au site d'implantation des ouvrages) peut être envisagée, afin de s'assurer du rôle joué par les ouvrages. Ces études doivent par ailleurs être effectuées sur une durée assez longue, car il existe un effet d'accoutumance ou d'amélioration de la qualité du passage (plantations) et de ces abords (cicatrisation).

L'objectif du suivi peut être focalisé sur une espèce en particulier. Dans ce cas, il convient de choisir le matériel pour lequel la détection de l'espèce est optimale. Il est toutefois recommandé de choisir des méthodes permettant de suivre plusieurs espèces.

Dans un second temps, les caractéristiques techniques de l'ouvrage à suivre orientent le choix du dispositif.

Deux principaux critères permettent de cerner les contraintes liées au choix du dispositif :

- largeur utile du passage : plus le passage d'un ouvrage est étroit, plus il est facile à suivre. L'augmentation de sa largeur implique par exemple la multiplication du nombre de pièges photographiques (distance maximale d'identification de la faune inférieure à 15 m de nuit), l'agrandissement du piège à traces, ou encore l'impossibilité de couvrir la largeur totale du passage avec un piège à vibrations ;
- passage inférieur ou supérieur : le positionnement du matériel de suivi dans un ouvrage inférieur permet de s'affranchir de nombreux biais météorologiques (précipitations, vent, soleil, amplitude thermique importante, etc.). Au contraire, sur un passage supérieur (à ciel ouvert), le piège à traces, le piège à vibrations et dans une moindre mesure le piège photographique se révèlent tous trois moins efficaces.

Il est important de choisir et de définir précisément les méthodes et matériels de suivi avant le démarrage des évaluations, pour chaque typologie d'ouvrages étudiés, en réalisant au préalable une classification des ouvrages en fonction de leur dimension, leur typologie et des espèces ou groupes d'espèces pour lesquelles ils ont été construits. Il s'agit ensuite de mettre en place les suivis de façon identique pour chaque classe d'ouvrages et chaque espèce ou groupe d'espèces ciblées, sans changer au cours de l'évaluation le protocole mis en place et ce, jusqu'à la fin de la période de suivi (sauf cas particulier, comme pour tenir compte de retours d'expérience, de facteurs locaux (vandalisme), etc.). Le strict respect de ces conditions permet des comparaisons de plusieurs ouvrages statistiquement fiables et exploitables sur une période de temps définie. Les résultats et conclusions issus des analyses statistiques en sont d'autant plus robustes et pertinents.

Le tableau ci-après énumère les avantages et inconvénients rencontrés avec chaque méthode de suivi. Le détail de ces méthodes peut être retrouvé dans l'ouvrage édité par Vinci Autoroutes et la LPO : *Retour d'expérience des aménagements et des suivis faunistiques sur le réseau Vinci Autoroutes*, 2016.



Chats forestiers pris au piège photos sur un ouvrage de l'autoroute A89. Source : FDC 63/ASF réseau Vinci Autoroutes.



Cerf pris au piège photos. Source : FDC 17/ASF réseau Vinci Autoroutes.

	Avantages	Inconvénients
Piège-photos (en mode infrarouge) et mouvement	<ul style="list-style-type: none"> • Autonomie importante • Données horodatées • Individualisation possible dans certains cas très particuliers • Étude comportementale possible 	<ul style="list-style-type: none"> • Ne détecte pas les animaux à corps froid • Parfois intrusif pour la moyenne faune (renard, fouine, etc.) • Taux de détection jamais évalué qui diminue avec la réduction de la corpulence des espèces • Risque de vol
Piège-photos (en mode déclenchement à intervalles standardisés)	<ul style="list-style-type: none"> • Échantillonne de façon automatique • Déclenche également en infrarouge • Adapté aux déplacements lents des amphibiens (1 cliché/15 s.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Autonomie réduite • Non adapté aux déplacements rapides • Nombre très important de photos à contrôler
Piège à traces	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensions adaptables du piège • Peu intrusif • Dénombrement des passages quasi exhaustif si méthodologies rigoureuses 	<ul style="list-style-type: none"> • Lecture et interprétation variables (humidité, substrat) des traces (fréquentation sous-estimée) • Données non horodatées • Pas d'individualisation • Biais observateur • Contrôles fréquents nécessaires
Piège-photos à barrière photoélectrique	<ul style="list-style-type: none"> • Autonomie moyenne • Données horodatées • Dénombrement quasi exhaustif des passages 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque de vol • Investissement plus élevé • Installation plus complexe
Piège-photos à vibrations	<ul style="list-style-type: none"> • Autonomie importante • Données horodatées • Individualisation possible dans certains cas très particuliers • Détecte les animaux à corps froid • Déclenche également en infrarouge et mouvement 	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensions limitées du tapis (environ 1 m²) • Intrusif pour la moyenne faune (renard, blaireau, etc.) • Dispositif peu adapté pour l'extérieur • Encore en développement pour accroître sa sensibilité
Capturs d'indices de présence (piège à poils, fèces avec identification génétique)	<ul style="list-style-type: none"> • Échantillonnage plus simple pour les micromammifères* • Adapté pour évaluer la richesse spécifique 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de dénombrement
Capture (marquage recapture)	<ul style="list-style-type: none"> • Identification voire individualisation • Interprétation des déplacements lors de recaptures 	<ul style="list-style-type: none"> • Très intrusif • Pas de données comportementales • Pression d'observation limitée dans le temps
Observation directe	<ul style="list-style-type: none"> • Données comportementales 	<ul style="list-style-type: none"> • Parfois intrusif • Biais observateur • Chronophage • Pression d'observation limitée dans le temps
Enregistreur ultrasonore (chiroptères*)	<ul style="list-style-type: none"> • Autonomie importante • Identification possible 	<ul style="list-style-type: none"> • Trajectoires de vols non connues avec un seul enregistreur
Caméra thermique (chiroptères*)	<ul style="list-style-type: none"> • Trajectoires de vols connues 	<ul style="list-style-type: none"> • Pression d'observation limitée dans le temps (nécessite un opérateur) • Identification compliquée
Trajectographie (chiroptères*)	<ul style="list-style-type: none"> • Trajectoires de vols connues • Identification possible 	<ul style="list-style-type: none"> • Matériel encore très peu utilisé

Avantages et inconvénients des différentes méthodes de suivi utilisées par Vinci Autoroutes.

Source : Vinci Autoroutes modifié par GREGE.

La **saisie des données collectées** est essentielle et demande souvent un temps conséquent. Elle est donc à optimiser dès le départ en fonction des objectifs du suivi. En plus des paramètres permettant de caractériser les ouvrages (dimensions, types d'aménagements, etc.) et les suivis (pression d'observation, type de matériel, etc.), chaque donnée (correspondant au passage d'un animal) doit être renseignée avec un minimum d'informations : date, heure, espèce, nombre d'individus, traversée, comportement, etc.

Il est impossible de prévoir précisément le temps de saisie, le nombre de passages d'animaux étant

très variable. Pour repère, la saisie informatique (avec le minimum d'informations citées précédemment) de 400 à 500 passages de faune requiert environ 3 heures de travail (pour une personne familière de ce travail).

Enfin, le **protocole ou programme de suivi** doit être basé sur des **méthodes de suivi** adaptées aux différents taxons en présence, le plus possible standardisées, afin d'être reproductibles dans le temps.

Dans le domaine de l'écologie routière, les méthodes de suivi les plus utilisées sont synthétisées dans le tableau ci-après.

Taxons	Méthodes de suivi utilisées
Mammifères	Piège photographique, piège à traces, piège à poils, piège à encre, recherche d'indices de présence (empreintes, fèces, épreintes*...), photographie thermique par drone (identification de la taille des populations de grands mammifères)
Micromammifères*	Capture, marquage, recapture (CMR)
Chiroptères*	Détection (Batbox), enregistreur ultrasonore automatique (Annabat, SM2), capture au filet, caméra thermique ou infrarouge
Amphibiens	Prospection nocturne (pêche à l'épuisette), nasse de Ortmann, comptages des pontes, barrière temporaire et collecte dans des seaux (déplacements), ADN environnemental (mare)
Reptiles	Prospection visuelle (transects), plaque de thermorégulation
Entomofaune*	Prospection ciblée, transects (ex : papillons), ADN environnemental (odonates dans les mares)
Poissons	Prospection nocturne, pêche électrique, ADN environnemental
Oiseaux	Prospection ciblée, point d'écoute (IPA)
Flore	Comptage de pieds sur espèce ciblée, relevé phytosociologiques, analyse de la structure de végétation...

Méthodes de suivis faunistiques utilisées en écologie routière (modifié d'après Vinci Autoroutes, juin 2016).



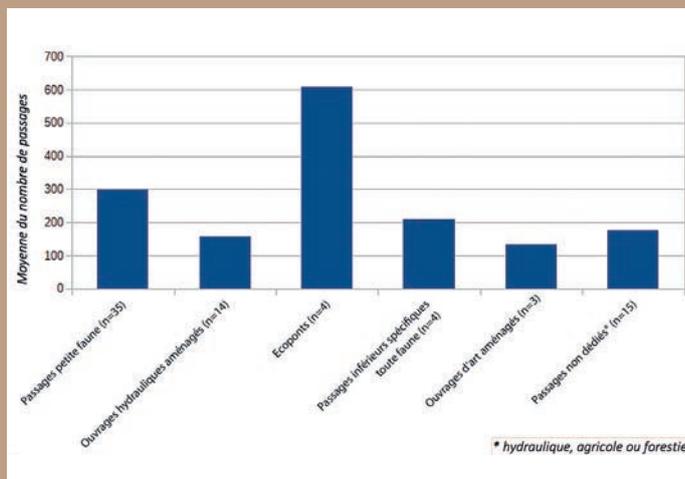
Suivis par pièges photographiques des ouvrages du réseau Vinci Autoroutes

Vinci Autoroutes a suivi 81 ouvrages, dont 66 spécifiques à la faune et 15 ouvrages non dédiés. 76 ouvrages ont été suivis par piège photographique à détection infrarouge permettant de collecter plus de 25 000 données de passages entre le 18/02/2011 et le 29/04/2015. Le volume de cette base de données a permis des calculs de moyennes de passages par an, par type d'ouvrages (cf. illustration ❶) et par espèces (cf. illustration ❷).

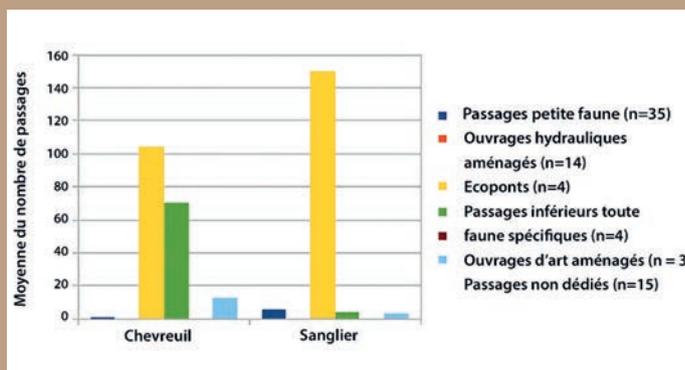
41 espèces ont été photographiées dont 29 espèces de mammifères, 4 espèces d'amphibiens, 4 espèces de reptiles et 4 espèces d'oiseaux nidifuges (quittant le nid juste après l'éclosion).

L'analyse des résultats a permis de montrer que sur les ouvrages suivis :

- ce sont les ouvrages supérieurs toute faune qui ont permis le plus grand nombre de passages toutes espèces confondues ;
- les buses sèches de petite taille (\varnothing 0,8 m à 1,20 m et de longueur comprise entre 31 et 75 m) sont également très utilisées tant en nombre d'espèces différentes (33) qu'en nombre de passages ;
- jusqu'à 80 m de longueur, il n'a pas été constaté de différence significative de fréquentation en fonction de la longueur de traversée des ouvrages petite faune ou hydrauliques aménagés. Toutefois, au-delà de 80 m, les ouvrages sont moins fréquentés avec moins d'espèces utilisatrices (essentiellement des espèces fouisseuses) ;
- les passages à petite faune situés au droit d'un cours d'eau, corridor écologique privilégié, sont utilisés par un nombre d'espèces plus important que dans les ouvrages non associés à un cours d'eau (28 contre 20) et avec une fréquentation moyenne bien plus élevée (401 passages/an/ouvrage contre 226 passages/an/ouvrage) ;
- concernant les grands mammifères, on observe que les cerfs sont exclusivement passés sur des passages supérieurs toute faune (écopont*) et que, sans que ce soit exclusif, le sanglier et le chevreuil ont utilisé très majoritairement cette même catégorie de passages.



❶ Moyenne du nombre de passages (petite, moyenne et grande faune) détectés par an et par type d'ouvrage. Source : Vinci Autoroutes.



❷ Moyenne du nombre de passages pour les grands mammifères détaillés par type d'ouvrage. Source : Vinci Autoroutes.

Glossaire

- **Andain** : amas de branchages, de souches ou de pierres qui forme une bande généralement continue et qui crée une continuité de cachettes ou de micro-habitats pour la faune.
- **Arase** : niveau supérieur d'un ouvrage de maçonnerie, généralement mis bien à plat, servant de base pour la suite de la construction (source : Wikipédia).
- **Baliveau** : jeune arbre qui commence à faire apparaître ses premières ramifications.
- **Banquette (dans un ouvrage hydraulique)** : espace réservé ou aménagé au pied des parois latérales à l'intérieur d'un ouvrage hydraulique, afin de permettre le passage à pied sec de cet ouvrage par la faune terrestre. Cet espace, relié aux berges du cours d'eau situées de part et d'autre de l'ouvrage, peut être constitué de matériaux naturels ou artificiels.
- **Biodiversité** : terme utilisé pour décrire le nombre, la variété et la variabilité du vivant, généralement considéré à trois niveaux d'organisation : les individus et populations (patrimoine génétique) ; les espèces et taxons ; les écosystèmes et paysages. Le concept de biodiversité est défini par la Convention sur la diversité biologique comme « la variabilité des êtres vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie : cela comprend la diversité au sein des espèces, ainsi que celle des écosystèmes » (art. 2). La biodiversité n'est pas qu'une question de nombre, mais aussi de différence (composition, diversité bêta), (source : INPN).
- **Brame** : cri de rut du cerf ou du daim (source : Universalis).
- **Callune** (*Calluna vulgaris*) : arbrisseau à la base lignifiée, portant de nombreuses branches serrées, dressées et plus ou moins tortueuses.
- **Carabe** : coléoptère de la famille des Carabidae, insectes terrestres de grande taille essentiellement prédateurs.
- **Chiroptères** : nom d'ordre attribué aux chauves-souris (source : Larousse).
- **Code de l'environnement** : il regroupe, en France, des textes juridiques relatifs au droit de l'environnement. Ce code comporte sept livres : *Dispositions communes, Milieux physiques, Espaces naturels, Faune et flore, Prévention des pollutions, des risques, et des nuisances, Dispositions applicables en Nouvelle-Calédonie, en Polynésie française, à Wallis et Futuna, dans les terres australes et antarctiques françaises et à Mayotte, Protection de l'environnement en Antarctique*. Y accéder : <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?cidTexte=LEGITEXT000006074220> (source : Wikipédia).
- **Coléoptère** : ordre d'insectes dotés d'élytres rigides protégeant leurs ailes. Il s'agit de l'ordre qui comporte le plus grand nombre d'espèces décrites (près de 387 000 en 2015) parmi lesquelles les scarabées, les coccinelles, les lucanes, les hannetons, les charançons, les carabes (source : Wikipédia).
- **Cycle de vie (ou cycle de développement)** : période pendant laquelle se déroule une succession de phases qui composent la vie complète d'un organisme vivant. Ces phases intègrent la naissance (la germination chez les plantes), la croissance, l'alimentation, la reproduction, et enfin la mort (source : Wikipédia).
- **Cynégétique** : qui concerne la chasse (source : Larousse).
- **Dalot** : en génie civil, désigne un ouvrage de faible portée sous forme de cadre en béton armé. Il est fondé sur semelle si le terrain est rocheux ou sur radier* en béton armé dans le cas contraire.

- **Dicotylédones** : plantes dont la plantule issue de la germination d'une graine présente dès avant sa sortie en plein air, deux feuilles, appelées cotylédons ou parfois improprement, préfeuilles (source : Wikipedia).
- **Domaine vital** : aire où un animal vit ordinairement et qui suffit à répondre à ses besoins primaires. On peut parler du domaine vital d'un individu moyen, d'un couple type ou éventuellement d'une population au sein d'une métapopulation, pour tout ou partie de son cycle de vie (le domaine vital doit donc être défini pour un intervalle de temps donné (saison, année, ou durée de vie) (source : Wikipédia).
- **Écopont** : ouvrage supérieur de grande dimension (> 20 m) construit au-dessus d'une infrastructure linéaire de transport (route/autoroute, voie ferrée, canal) et aménagé spécifiquement pour rétablir la transparence écologique interrompue par le passage de l'infrastructure. Il s'agit d'un ouvrage supportant une couche de terre qui lui permet d'être végétalisé. Il maintient ainsi une connectivité maximale avec les habitats situés de part et d'autre de l'ouvrage et assure le passage de nombreuses espèces animales.
- **Édaphique** : relatif au sol (source : Larousse). En écologie, les facteurs édaphiques correspondent aux facteurs liés à la nature du sol (pH, humidité, etc.).
- **Encorbellement (banquette en)** : banquette constituée d'un platelage (plateau de quelques centimètres d'épaisseur) suspendu et fixé sur les parois latérales à l'intérieur d'un ouvrage hydraulique, reliant les berges de chaque côté de l'ouvrage et permettant le passage à pied sec de la faune terrestre. Ce type de banquette est généralement utilisé dans le cadre de la requalification* des ouvrages en place dont les dimensions (capacité hydraulique) ne permettent pas l'installation d'une banquette dans le lit du cours d'eau (qui entraînerait une diminution de la largeur du lit dans l'ouvrage, pouvant remettre en cause les capacités d'écoulement hydraulique et une accélération de la vitesse d'écoulement rendant l'ouvrage difficilement franchissable pour l'ichtyofaune).
- **Enquête publique** : lorsque les collectivités locales réalisent des aménagements, des ouvrages ou des travaux, qui, en raison de leur nature, sont susceptibles de porter atteinte à l'environnement, ces opérations sont soumises à enquête publique. Cette enquête a pour objet d'assurer l'information et la participation du public, ainsi que la prise en compte des intérêts des tiers et de recueillir l'avis du public sur ces opérations, afin de permettre à la personne publique, dans le cas d'espèce la collectivité locale, de disposer des éléments nécessaires à son information (source : portail de l'État pour les collectivités, <https://www.collectivites-locales.gouv.fr/enquetes-publiques>).
- **Entomofaune (ou faune entomologique)** : partie de la faune constituée par les insectes, qui comprend les aptérygotes, caractérisés par l'absence d'ailes, et les ptérygotes. L'entomofaune désigne la totalité de la population d'insectes présents dans un milieu (source : Wikipédia).
- **Entomologique** : qui a rapport à l'entomologie, qui est relatif aux animaux articulés, spécialement aux insectes (source : Centre national de ressources textuelles et lexicales).
- **Épreintes** : en zoologie, laissées de loutre.
- **Espèce** : ensemble monophylétique d'individus se reconnaissant comme partenaires sexuels, et capables de donner une descendance féconde. Groupement de base de la classification des êtres vivants. Pour les animaux actuels, l'espèce peut être définie comme l'ensemble des individus interféconds, c'est-à-dire capable de se reproduire entre eux et de s'assurer une descendance. Un spécimen est désigné par son nom de genre, puis son nom d'espèce (source : MNHN).
- **Eutrophe** : milieu riche en matières nutritives en surabondance, ne pouvant être totalement utilisées par le peuplement « normal » d'un biotope (source : d'après Universalis).
- **Éviter-réduire-compenser** : la séquence dite « ERC » visant à concilier développement économique et enjeux environnementaux, en constituant

le fil conducteur d'intégration de l'environnement dans les documents de planification et les projets d'aménagements du territoire. Pour ces derniers, il s'agit d'éviter toute atteinte aux milieux naturels et aux services associés ; à défaut, de les réduire ; et, en dernier lieu, de les compenser (source : OFB).

- **Fouissage (pour un animal)** : action de creuser ou de gratter la terre.
- **Gabion** : en génie civil, caisse à carcasse métallique que l'on remplit de matériaux et servant à protéger les berges d'un cours d'eau ou à construire des murs de soutènement (sources : Larousse et Wikipédia).
- **Gestion différenciée** : mode de gestion des espaces verts consistant à adapter la gestion des espaces (en termes par exemple de fréquence de tontes et de taille) selon leur localisation, leurs caractéristiques et leurs usages. (Source : MOOC Herbes Folles Tela Botanica).
- **Glacis** : rampe en pente douce.
- **Girobroyage** : technique de coupe et de broyage de l'ensemble de la végétation herbacée et arbustive. Cette technique généralement effectuée à l'aide d'un tracteur équipé laisse au sol un amas de débris végétaux.
- **Gliridés** : famille de rongeurs de tailles moyennes appelés loirs, lérots, lérôtins, muscardins, voire souris (source : Wikipédia).
- **Habitat (d'espèces)** : 1. Un habitat d'espèce correspond au milieu de vie de l'espèce (zone de reproduction, zone d'alimentation, zone de repos...). Il peut comprendre plusieurs habitats naturels. 2. Par habitat naturel, on entend un ensemble indissociable avec : une faune, avec des espèces ayant tout ou partie de leurs diverses activités vitales sur l'espace considéré ; une végétation (herbacée, arbustive et arborescente) ; un compartiment stationnel (conditions climatiques, sols et matériau parental et leurs propriétés physico-chimiques). Un habitat ne se réduit pas à la seule végétation.

Mais celle-ci, par son caractère intégrateur (synthétisant les conditions de milieu et de fonctionnement du système) est considérée comme un bon indicateur et permet de déterminer l'habitat (source : Rameau et al., 1998) (source : INPN).

- **Herpétofaune** : partie de la faune constituée par les amphibiens et les reptiles (source : Wikipédia).
- **Hibernaculum** : refuge, gîte ou partie d'un terrier qui sert à l'hibernation d'un animal (source : Wikipédia).
- **Houppier** : partie d'un arbre constituée d'un ensemble structuré des branches situées au sommet du tronc (des branches maîtresses aux rameaux secondaires) (source : Wikipédia).
- **Léporidés** : famille de mammifères lagomorphes comprenant les lièvres et les lapins (source : Wikipédia).
- **Lucifuge** : qui fuit, évite la lumière (source : Centre national de ressources textuelles et lexicales).
- **Messicole** : les plantes messicoles sont les « habitantes des moissons ». Ce sont des plantes annuelles, comme le coquelicot ou le bleuet, le plus souvent dépendantes des cultures de céréales et des pratiques liées à ces cultures (source : Conservatoires botaniques nationaux).
- **Métapopulation** : ensemble de populations d'une même espèce, séparées par des barrières géographiques, entre lesquelles il existe des échanges (flux de gènes) plus ou moins abondants et fréquents (source : Futura science).
- **Micromammifères** : petits mammifères (carnivores, rongeurs, insectivores, etc.) regroupés dans cette catégorie particulière en raison de leur petite taille (source : Wikipédia).
- **Migration (des espèces)** : mouvement saisonnier de certains animaux entre une aire de reproduction et une zone internuptiale (hivernage, hibernation, grossissement, maturation sexuelle...) (source : PNR Cotentin).

- **Milieu** : en écologie, environnement particulier, caractéristique et nettement délimité (source : MNHN).
- **Mustélidés** : famille de mammifères carnivores généralement nocturnes, au corps étroit et allongé, bas sur pattes, parmi lesquels on compte la belette, le blaireau, le furet, l'hermine, la loutre, le putois, le vison ou encore la martre (source : Centre national de ressources textuelles et lexicales).
- **Natura 2000** : réseau écologique européen de sites naturels (ZPS et ZSC) désignés en application de la directive « Habitats » et visant à la conservation des espèces et habitats d'intérêt communautaires dans un cadre global de développement durable prenant en compte les pratiques socioéconomiques (source : INPN).
- **Obstacle (au déplacement des espèces)** : un obstacle aux continuités écologiques est un élément d'origine anthropique ou une partie de territoire anthropisé qui a pour conséquence de fragmenter les habitats et de limiter ou de rendre impossible son franchissement par certaines espèces. Il peut être ponctuel, linéaire ou surfacique et de diverses natures (infrastructure, barrage, milieu dégradés, paysages simplifiés, sols artificialisés ou anthropisés, pollution lumineuse, chimique, sonore, etc.) (source : Légifrance ou ONTVB).
- **Oligotrophe** : se dit d'un milieu pauvre en substances nutritives. Se dit des végétaux capables de subsister dans un milieu très pauvre (source : Larousse).
- **Orthophotographies** : images aériennes ou satellitaires de la surface terrestre rectifiées géométriquement et égalisées radiométriquement. Ces images se présentant sous forme de dalles couvrant une zone de la Terre peuvent être géoréférencées dans n'importe quel système de coordonnées (source : Wikipedia).
- **Orthoptère** : insecte possédant quatre ailes et dont les deux ailes postérieures, à nervures droites, se replient en éventail sous les élytres, comme le criquet, le grillon, la sauterelle (source : Centre national de ressources textuelles et lexicales).
- **Paquet vert autoroutier** : contrat conclu entre l'État et les sociétés concessionnaires d'autoroutes (avenants aux contrats de concession). Élaboré au cours de deux cycles de négociations en 2008 et 2009, à la suite du Grenelle de l'environnement, ce plan prévoyait un ensemble de travaux autoroutiers à vocation environnementale en contrepartie d'un allongement de la durée de concession (1 an). Plusieurs objectifs étaient affichés : la réduction des nuisances sonores, la protection de la ressource en eau et de la biodiversité, la requalification des aires d'autoroutes et la réduction des émissions de CO₂ (source : Sénat).
- **Passage à faune** : ouvrage construit ou aménagé pour permettre le franchissement d'une infrastructure linéaire de transport (route/autoroute, voie ferrée, canal) par la faune. On distinguera les « passages toute faune » de grande taille qui permettent le franchissement d'un grand nombre de cortèges faunistiques de la grande et de la petite faune et des « passages petite faune » plus spécifiquement réservés aux plus petits animaux.
- **Passage exceptionnel toute faune** : passage à faune de très grande dimension (> 50 m) dont l'objectif est de reconstituer (ou préserver si tunnel ou viaduc) au mieux les habitats et si possible la structure du paysage initialement détruits (ou traversés) le plus souvent par une infrastructure linéaire de transport (route/autoroute, voie ferrée, canal). Cette reconstitution permet de rétablir (ou de maintenir) une connectivité maximale pour un maximum de cortèges faunistiques et floristiques.
- **Passage toute faune** : ouvrage d'art de grande dimension permettant le franchissement d'une infrastructure linéaire de transport (route/autoroute, voie ferrée, canal) par la grande et la petite faune et qui, plus globalement, permet de rétablir au mieux une continuité écologique interrompue par le passage de l'infrastructure. Ils peuvent être aménagés en partie ou en totalité pour faciliter la traversée par la faune. Les passages sont dits « supérieurs » ou « inférieurs » selon qu'ils passent au-dessus ou en dessous de l'infrastructure. On parlera de « passage faune spécifique » pour les ouvrages ayant pour unique fonction d'assurer en toute sécurité la traversée par

la faune de l'ILT et de « passage faune mixte » pour les ouvrages qui ont en plus une fonction de type hydraulique, agricole, forestière et/ou piétonne.

- **Passage (à) petite faune** : ouvrages de taille réduite réservés principalement au passage des petits animaux. Ils peuvent avoir une vocation spécifique (batracoduc, passage canopée...), mais sont plus généralement des petits ouvrages de rétablissement (dalot*, buse) qui permettent globalement d'assurer sans trop de difficultés une transparence minimale pour une grande partie des animaux allant de la taille d'un renard jusqu'aux plus petites espèces de la microfaune.
- **Perré** : revêtement en pierres sèches ou en maçonnerie, destiné à renforcer un remblai, les rives d'un fleuve, les parois d'un canal, etc. (source : Centre national de ressources textuelles et lexicales).
- **Phytopharmaceutique (produits)** : préparations destinées à protéger les végétaux et les produits de culture. Ils font partie des pesticides, qui regroupent également les biocides et les antiparasitaires à usage humain et vétérinaire (source : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail).
- **Phytosanitaire (produits)** : produit chimique utilisé pour soigner, protéger, aider à la croissance des végétaux ou encore pour en prévenir les maladies (source : Wikipédia).
- **Pique-prune ou scarabée pique-prune (*Osmoderma eremita*)** : espèce d'insectes coléoptères de la famille des Scarabaeidae, de la sous-famille des Cetoniinae (cétaines). C'est une espèce en régression, menacée et protégée (source : Wikipédia).
- **Plantes supérieures** : plantes se multipliant par des graines.
- **Radier** : dalle épaisse en maçonnerie ou en béton constituant la fondation d'un ouvrage (source : Larousse).
- **Requalification** : mise à niveau réglementaire en matière de protection de la nature et de l'environnement, par exemple d'un itinéraire routier, autoroutier ou ferroviaire, lorsque des travaux d'aménagement sont projetés sur un itinéraire existant (ex. : élargissement de la bande d'arrêt d'urgence, création d'une bretelle...).
- **QMNA** : en hydrologie, valeur du débit mensuel d'étiage atteint par un cours d'eau pour une année donnée. Calculé pour différentes durées : 2 ans, 5 ans, etc., il permet d'apprécier statistiquement le plus petit écoulement d'un cours d'eau sur une période donnée. Le QMNA le plus courant est le QMNA5 (source : Wikipédia).
- **Réserve naturelle** : partie du territoire où la conservation de la faune, de la flore, du sol, des eaux, des gisements de minéraux et de fossiles et, en général, du milieu naturel présente une importance particulière. Il convient de soustraire ce territoire à toute intervention artificielle susceptible de le dégrader. On distingue les réserves naturelles nationales (RNN), les réserves naturelles de la collectivité territoriale de Corse (RNC) et les réserves naturelles régionales (RNR). Leur gestion est confiée à des associations de protection de la nature dont les conservatoires d'espaces naturels, à des établissements publics et à des collectivités locales (source : INPN).
- **Résilience** : capacité d'un système (écologique ou autre) à retrouver son état de fonctionnement antérieur, après perturbation (source : MNHN).
- **Restanque** : en Provence, muret en pierres sèches soutenant une culture en terrasse (source : Larousse).
- **Ripsisylve** : ensemble des formations boisées, buissonnantes présentes sur les rives d'un cours d'eau (source : Wikipédia).
- **Risberme** : plate-forme réalisée au milieu d'un talus de grande hauteur pour augmenter sa stabilité et faciliter son entretien (source : Wikipédia).
- **Rosette** : disposition de feuilles nombreuses et étalées, arrangées en cercle, rapprochées et dont l'ensemble se termine par une tige souterraine ou rhizome ou des rameaux aériens (source : Centre national de ressources textuelles et lexicales).

- **Saproxylique (espèce)** : réalisant tout ou partie de son cycle de vie dans le bois en décomposition, ou les produits de cette décomposition. Elle est associée à des arbres tant vivants que morts (source : Wikipédia).
- **Sous-trame** : sur un territoire donné, rassemble l'ensemble des espaces constitués par un même type de milieu (boisé, humide...) et le réseau que constituent ces espaces plus ou moins connectés. Elle est composée de réservoirs de biodiversité, de corridors écologiques et, éventuellement, d'autres espaces qui contribuent à former la sous-trame pour le type de milieu correspondant.
- **Tirant d'air** : hauteur libre entre le niveau le plus bas (sol, ligne de flottaison) et le tablier d'un ouvrage.
- **Trame noire** : la trame noire est l'ensemble des réservoirs de biodiversité et des corridors écologiques caractérisés par une certaine obscurité et empruntés par les espèces nocturnes (source : OFB). Déclinaison de la trame verte et bleue* dans la dimension temporelle (alternance jour/nuit) destinée ainsi à résoudre le problème de la fragmentation des habitats causée par la lumière artificielle nocturne.
- **Trame verte et bleue** : réseau formé de continuités écologiques terrestres et aquatiques identifiées par les schémas régionaux de cohérence écologique ainsi que par les documents de planification de l'État, des collectivités territoriales et de leurs groupements. Elle contribue à l'amélioration de l'état de conservation des habitats naturels et des espèces et au bon état écologique des masses d'eau. Elle s'applique à l'ensemble du territoire national à l'exception du milieu marin (source : CDR TVB).
- **Trophique** : qui est relatif à la nutrition d'un individu, d'un tissu vivant, ex. : besoins trophiques (source : Larousse).
- **Urodèle** : ordre de batraciens caractérisé par un corps allongé, une queue développée et quatre membres (salamandres, tritons) (source : Centre national de ressources textuelles et lexicales).

Liste des abréviations

APA	Avant-projet autoroutier
CEIN	Continuités écologiques d'importance nationale
CMR	Capture, marquage, recapture
CNPN	Conseil national de la protection de la nature
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
CPIE	Centre permanent d'initiatives pour l'environnement
CSRPN	Conseil scientifique régional du patrimoine naturel
DBA	(séparateur ou glissière) double en béton adhérent
DiRIF	Direction interdépartementale des routes Île-de-France
DIRO	Direction interdépartementale des routes Ouest
DREAL	Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (ou DEAL dans les départements et régions d'outre-mer). Services déconcentrés de l'État français, sous tutelle commune du ministère de la Transition écologique et du ministère de la Cohésion des territoires (source : Wikipédia)
DUP	Déclaration d'utilité publique
ENS	Espace naturel sensible
GBA	Glissière en béton adhérent
GREGE	Groupe de recherche et d'étude pour la gestion de l'environnement
HAP	Hydrocarbure aromatique polycyclique
IMPCF	Institut méditerranéen du patrimoine cynégétique et faunistique
INRAE	Institut national de recherche pour l'agriculture et l'environnement
IOTA	Installations, ouvrages, travaux et activités
IPBES	<i>Intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services</i>
ITPC	Interruption de terre-plein central
ITTECOP	Infrastructures de transports terrestres, écosystèmes et paysages
MCT	Ministère de la Cohésion des territoires
MNHN	Muséum national d'Histoire naturelle
MTE	Ministère de la Transition écologique
OAP	Orientations d'aménagement et de programmation
OFB	Office français de la biodiversité
OGE	Office de génie écologique
ONCFS	Office national de la chasse et de la faune sauvage
ONF	Office national des forêts
ONTVB	Orientations nationales trame verte et bleue
ORE	Obligation réelle environnementale

PEHD	Polyéthylène haute densité. Plastique opaque, résistant aux chocs, imperméable à l'eau, à certains produits chimiques, au gaz et aux arômes
PLU(i)	Plan local d'urbanisme (intercommunal). Principal document de planification de l'urbanisme au niveau communal (PLU) ou intercommunal (PLUi). C'est un projet global d'aménagement de la commune ou des communes, dans un souci de respect du développement durable, dans le cadre du projet d'aménagement et de développement durable (PADD), tout en respectant les politiques d'urbanisme, d'habitat et de déplacements urbains (source : Wikipédia)
PLUM	Plan local d'urbanisme métropolitain
PRAD	Pont à poutres précontraintes par adhérence
PRV	Polyester renforcé en fibre de verre
SCoT	Schéma de cohérence territoriale. Outil de conception et de mise en œuvre d'une planification stratégique intercommunale, à l'échelle d'un large bassin de vie ou d'une aire urbaine, dans le cadre d'un projet d'aménagement et de développement durables (PADD) (source : ministère de la Cohésion des territoires et des Relations avec les collectivités territoriales)
SEA	Sud Europe atlantique
SIG	Système d'information géographique. Système conçu pour recueillir, stocker, traiter, analyser, gérer et présenter tous les types de données spatiales et géographiques (source : Wikipedia)
SRADDET	Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires. Schéma régional de planification qui fusionne plusieurs documents sectoriels ou schémas existants : schéma régional d'aménagement et de développement durable du territoire (SRADDT), plan régional de prévention et de gestion des déchets (PRPGD), schéma régional de l'intermodalité (SRI), schéma régional climat air énergie (SRCAE) et SRCE. Le SRADDET – qui remplace le SRADDT, créé en 1995 et modifié en 1999 – a été institué par la loi NOTRe dans le contexte de la mise en place des nouvelles Régions (en 2016) (source : Wikipédia)
SRCE	Schéma régional de cohérence écologique. Schéma d'aménagement du territoire (antérieur au SRADDET) et de protection de certaines ressources naturelles (biodiversité, réseau écologique, habitats naturels) et visant le bon état écologique de l'eau imposé par la directive cadre sur l'eau. C'est un document cadre élaboré dans chaque région, mis à jour et suivi conjointement par la Région (Conseil régional) et l'État (préfet de région) en association avec un comité régional Trame verte et bleue (source : TVB Nouvelle Aquitaine). Il présente et analyse notamment les enjeux régionaux relatifs à la préservation et à la remise en bon état des continuités écologiques
TVB	Trame verte et bleue
UICN	Union internationale pour la conservation de la nature
ZNIEFF	Zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique

Bibliographie

- AFE, UMS Patriat/MNHN, Centre de ressources TVB, *Pollution lumineuse et Biodiversité : état des connaissances et retours d'expérience. Actes de la journée 19 décembre 2017*, Paris, 29 p.
- Alves B., *Effect of conventional bridges on deer-vehicle accidents. Faculty of natural resources and agricultural sciences, Department of ecology, Grimsö wildlife research station*, 2012, 28 p.
- Ament R. et al., *Wildlife Crossings: The new norm for transportation planning*, 2015, p. 45-47.
- Andis A. Z., Huijser M. P. & Broberg L., *Performance of arch-style road crossing structures from relative movement rates of large mammals. Frontiers in ecology and evolution*, 2017, 13 p.
- ASF Réseau Vinci Autoroutes, *Recueil des dossiers d'information du programme environnement du plan de relance autoroutier*, 2015.
- Ascensão F. and Mira A., *Factors affecting culvert use by vertebrates along two stretches of road in southern portugal. Ecological Research*, 2007, p. 57-66.
- Association Hommes et Territoires, *Gestion des dépendances routières et bordures de champs à l'échelle de la région Centre dans le cadre du grenelle de l'environnement et de La Trame Verte et Bleue*, 2011, 79 p.
- ATEN, Escota & Cabinet X-AEQUO, *Éco-Restanques pour écopont à haute fonctionnalité écologique*, 2016, p. 1-15.
- Audie-Liebert J., Biaunier J., Bretau J.-F. et al., *Rapport SRCE et requalification des infrastructures - Rapport technique*, Cerema, 2019, 30 p.
- Babińska-Werka J., Krauze-Gryz D., Wasilewski M. & Jasińska K., *Effectiveness of an acoustic wildlife warning device using natural calls to reduce the risk of train collisions with animals. Transportation research part D: Transport and Environment*, 2015, p. 6-14.
- Backs, J. A. J., Nychka J. A. & St. Clair C. C., *Warning systems triggered by trains could reduce collisions with wildlife. ecological engineering. Elsevier B.V*, 2017, p. 563-569.
- Backs, J. A. J., Nychka J. A. & St. Clair C. C., *Warning signals triggered by trains increase escape time for wildlife. Edited by van der Ree, R. TransportEcology.info, Accessed at: <https://transportecology.info/research/warning-signals-trains>*, 2020, 7 p.
- Baigas P. E. et al., *Using environmental features to model highway crossing behavior of Canada Lynx in the southern Rocky mountains. landscape and urban planning. Elsevier B.V*, 2017, p. 200-213.
- Baillie D., *Installation d'un passage protégé « écuroduc » à poulie unique*, 2012, 33 p.
- Bain T. K., Cook D. G. & Girman D. J., *Evaluating the effects of abiotic and biotic factors on movement through wildlife crossing tunnels during migration of the California tiger salamander, ambystoma californiense. Herpetological Conservation and Biology*, 2017, p. 192-201.
- Ballók Z., Náhlik A. & Tari T., *Effects of building a highway and wildlife crossings in a red deer (Cervus Elaphus) habitat in Hungary. Acta silvatica et Lignaria hungarica*, 2010. p. 67-74.
- Barrientos R. et al., *Railway ecology vs. road ecology: similarities and differences. European journal of wildlife research*, 2019, p. 0-9.
- Barrientos R., Plaza M., *Road-kill hot spots can change over the time, variables explaining them do not. Colloque IENE*, 2016, 27 p.

- Baxter-Gilbert J. H., Riley J. L., *Mitigating reptile road mortality: fence failures compromise ecopassage effectiveness. PLoS ONE*, 2015, p. 1-15.
- Baxter-Gilbert J. H. et al., *Road mortality potentially responsible for billions of pollinating insect deaths annually. Journal of insect conservation*, Springer international publishing, 2015, p. 1029-1035.
- Beben D., *Crossings construction as a method of animal conservation. Transportation research Procedia. Elsevier B.V.*, 2016, p. 474-483.
- Beben D., *Crossings for Animals - an effective method of wild fauna conservation. Journal of environmental engineering and landscape management*, 2012, p. 86-96.
- Bédard Y. et al., *Conception et suivi des passages à petite faune sous la route 175 dans la réserve faunique des Laurentides. Le Naturaliste Canadien*, 2012, p. 66-71.
- Benhamou S., *Le domaine vital des mammifères terrestres, Rev. Ecol. (Terre Vie), vol.53.*, 1998, <http://hdl.handle.net/2042/54904>
- Benítez-López A., Alkemade R. & Verweij P. A., *The impacts of roads and other infrastructure on mammal and bird populations: a meta-analysis. Biological Conservation. Elsevier Ltd.*, 2010, p. 1307-1316.
- Benten A., Annighöfer P. & Vor T., *Wildlife warning reflectors' potential to mitigate wildlife-vehicle collisions-a review on the evaluation methods. Frontiers in ecology and evolution*, 2018, p. 1-12.
- Benten A. et al., *Wildlife warning reflectors do not mitigate wildlife-vehicle collisions on roads. Accident analysis and prevention. Elsevier*, 2018, p. 64-73.
- Bergès L., Roche P., Avon C., *Corridors écologiques et conservation de la biodiversité, intérêts et limites pour la mise en place de la Trame verte et bleue, Sciences Eaux & Territoires*, 2010, p. 34-39.
- Bhardwaj M., Olsson M. & Seiler A., *Ungulate use of non-wildlife underpasses. Journal of environmental management. Elsevier Ltd*, 2020, 6 p.
- Bil M., et al., *An evaluation of odor repellent effectiveness in prevention of wildlife-vehicle collisions. Journal of environmental management*, 2018, p. 209-214.
- Billon L., *Programmes d'étude et récoltes de données sur les collisions Faune/véhicules en France métropolitaine, Service du patrimoine naturel, Muséum national d'histoire naturelle, Paris*, 2014, 29 p.
- Billon L., Sordello R. & Tourout J., *Protocole de recensement des collisions entre la faune sauvage et les véhicules : proposition d'un socle commun. Service du patrimoine naturel, Muséum national d'histoire naturelle, Paris*, 2015, 18 p.
- Billon L. et al., *Méthode d'analyse des données issues du protocole de recensement des collisions faune/véhicule pour la détection de zones à risque, Service du patrimoine naturel, Muséum national d'histoire naturelle, Paris*, 2015, 30 p.
- Bissonette J. A. & Adair W., *Restoring habitat permeability to roaded landscapes with isometrically-scaled wildlife crossings. Biological Conservation*, 2008, p. 482-488.
- Bissonette J. A., *Evaluation of the use and effectiveness of wildlife crossings NCHRP 25-27*, 2007, 287 p.
- Bond A. R. & Jones D. N., *Temporal trends in use of fauna-friendly underpasses and overpasses. Wildlife research*, 2008, p. 103-112.
- Borda-de-Água L. et al., *Railway ecology*, 2017, p. 1-320.
- Brandjes G. J. et al., *Do animals use wildlife crossings in the Netherlands?*, Colloque IENE, 2016, 1 p.
- Bretau J.-F., *Requalification environnementale du réseau DIRO. Analyse de l'efficacité de réflecteurs de dissuasion de la grande faune*, 2018, 5 p.

- Breton J.-F. et al., *Permettre à la faune de franchir les infrastructures linéaires de transport, Exemples de requalifications d'infrastructures*, Cerema, Collection Expériences et pratiques, 2019, 80 p.
- Brodziewska J., *Wildlife tunnels and fauna bridges in Poland : past, present and futur 1997-2013*, *Dermatology online journal*, 2013, 14 p.
- Brunen B. & Jaeger J.A.G., *What attributes are relevant for drainage culverts to serve as efficient road crossing structures for mammals? TransportEcology.info*, Accessed at: <https://transportecology.info/research/attributes-for-water-culverts-as-crossing-structures>, 2021.
- Buton C., Nowak N., Lecigne S., *Analyse règlementaire et technique : Cadre juridique des traversées de voies routières par des animaux sauvages*, 2013, 35 p.
- Burkholder E. N. et al., *To jump or not to jump: mule deer and white-tailed deer fence crossing decisions*, *Wildlife society bulletin*, 2018, p. 420-429.
- Burt W. H., *Territoriality and home range concepts as applied to mammals*. *Journal of Mammalogy*, 1943, p. 346-352.
- Buton C., Maurice S. & Laforet L., *L'éco-restanque, la technique des andains écologiques adaptée à des écoponts méditerranéens*, 2014, 13 p.
- Cain A. T. et al., *Effects of a highway and mitigation projects on bobcats in southern Texas*. *Biological conservation*, 2003, p. 189-197.
- Canadien Naturaliste, *Numéro spécial colloque sur l'écologie routière et l'adaptation aux changements climatiques : de la recherche aux actions concrètes*, 2019, 138 p.
- Caldwell M. R., Klip J. M. K., *Wildlife Interactions within Highway Underpasses*. *The Journal of Wildlife Management*, 2019, p. 227-236.
- Carr T., Dacanay R., *Wildlife crossings: rethinking road design to improve safety and reconnect habitat*, 2003, 103 p.
- Carsignol J., Pineau C. & Bielsa S., *Clôtures routières et faune. Critères de choix et recommandations d'implantation*, 2008, 22 p.
- Carsignol J., *Des passages à gibier à la trame verte et bleue : 50 ans d'évolution pour atténuer la fragmentation des milieux naturels en France*, *Le Naturaliste Canadien*, 2012, p. 76-82.
- Carsignol J. and Tekielak G., *Clôtures routières et ferroviaires & faune sauvage. Critères de choix et recommandations d'implantation*, 2019, 32 p.
- Caryl A., Beroud T., *Les échappatoires à sangliers SANGLI-PASS®*, Cabinet Ex-Aequo, 2013, p. 12.
- Cavaillès J., Guinard E. & Vermeersch P., *Infrastructures linéaires de transport et reptiles. Application à trois espèces protégées à enjeux forts. Note d'information Environnement - Santé - Risque*, SETRA, 2015, 21 p.
- Cerema, *Les dispositifs anti-accès motorisé. Comment contrôler l'accès aux aménagements cyclables*, Cerema, Collection Références, 2016, 14 p.
- Cerema, *La gestion différenciée des dépendances vertes - Phase 1 et 2*, Cerema, Collection Expérience et pratiques, 2018, 42 p.
- Chisholm M. & Cooper D., *Wildlife passage engineering design guidelines*, 2010, 249 p.
- Claus K., *Building an ecoduct in an agricultural environment - A challenge for people and animals*, Colloque IENE, 2016, 16 p.
- Clauzel C., Mimet A., Foltête J.C., *How to attenuate the barrier effect of linear infrastructures? A method for prioritizing existing crossings to improve wildlife regional connectivity*, Colloque IENE, 2016, 2 p.
- Clevenger A. P., Sawaya M. A., Landguth E. L., *Trans-canada highway Yoho National park: mitigation and opportunities assessment for wildlife*, 2017, p. 1-187.

- Clevenger A. P., Chruszcz B. & Gunson K., *Highway mitigation fencing reduces wildlife-vehicle collisions. Wildlife Society Bulletin*, 2001, p. 646-653.
- Clevenger A. P., Waltho N., *Factors influencing the effectiveness of wildlife underpasses in Banff National Park. Conservation Biology*, 2016, p. 47-56.
- Clevenger A. P., *Conservation value of wildlife crossings: measures of performance and research directions, Gaia*, 2005, p. 124-129.
- Clevenger A. P., Chruszcz B. & Gunson K., *Drainage culverts as habitat linkages and factors affecting passage by mammals, Journal of Applied Ecology*, 2001, p. 1340-1349.
- Clevenger A. P., Huijser M. P., *Handbook for design and evaluation of wildlife crossing structures in North America*, 211 p.
- Clevenger A. P., and Kociolek A. V., *Highway median impacts on wildlife movement and mortality - State of the practice survey and gap analysis, Security*, 2006, 129 p.
- Clevenger A. P. & Leblond M., *Leçons tirées de l'étude des passages fauniques enjambant une autoroute dans le Parc National de Banff, Le Naturaliste Canadien*, 2012, p. 35-41.
- Clevenger A. P., Waltho N., *Performance indices to identify attributes of highway crossing structures facilitating movement of large mammals, Biological Conservation*, 2005, p. 453-464.
- Corlatti L, Hackländer K. & Frey-Roos F., *Ability of wildlife overpasses to provide connectivity and prevent genetic isolation, Conservation Biology*, 2009, p. 548-56.
- Cramer P., Hamlin R., *Evaluation of wildlife crossing structures on US Highway 93, Transportation*, 2003, 4 p.
- Cramer P., *Culvert bridge and fencing recommendations for big game 2 wildlife crossings in western United States based on Utah data, Transportation research board 93rd Annual Meeting. January 12-16, Washington*, 2014.
- Cramer P., *Determining wildlife use of wildlife crossing structures under different scenarios. Utah Department of Transportation Research Division*, 2012, 181 p.
- Craveiro J. et al., *Impact of culvert flooding on carnivore crossings. Journal of environmental management*, 2019, p. 878-885.
- Crenn G., *Ouvrages hydrauliques routiers - Analyse des passages à petite faune, Conseil Général du Morbihan*, 2011, 12 p.
- Croyal A. S., *Réduction des collisions sur les routes départementales : passages petite faune et détecteurs. Journée d'échanges techniques « Continuités écologiques et collisions avec la faune : des données aux solutions », Paris, Grande Arche La Défense, 2 juillet 2019*, 2019, 13 p.
- D'Amico M. et al., *General versus specific surveys: estimating the suitability of different road-crossing structures for small mammals. Journal of wildlife management*, 2015, p. 854-860.
- D'Angelo G. J. et al., *Evaluation of wildlife warning reflectors for altering white-tailed deer behavior along roadways, Wildlife society bulletin*, p. 1175-1183.
- Davis M. J., *Wildlife warning reflectors and white canvas reduce deer-vehicle collisions and risky road-crossing behavior, Wildlife society bulletin*, 2018.
- Département de l'Isère, *Écosphère, Hydrosphère, Couloirs de vie - Projet de restauration et de préservation des corridors biologiques du Grésivaudan, Synthèse d'évaluation scientifique et technique*, 2015, 64 p.
- Dodd C. K., Barichivich W. J. & Smith L. L., *Effectiveness of a barrier wall and culverts in reducing wildlife mortality on a heavily traveled highway in Florida. Biological conservation*, 2004, p. 619-631.
- Dodd N. L., et al., *Wildlife-vehicle collision mitigation for safer wildlife movement across highways: state route 260*, 2012, 134 p.

- Dorey J., *Les routes et bords de routes : barrières ou corridors écologiques ? Mémoire bibliographique*, Université de Rennes, 2010, 26 p.
- Dorsey B., Olsson M. & Rew L. J., *Ecological effects of railways on wildlife. Handbook of road ecology*, 2015, p. 219-227.
- Ecotec, *Bases pour la directive « planification et construction de passages à faune à travers des voies de communication »*, 2011, 28 p.
- Edelhoff H. et al., *Effects of landscape fragmentation on genetic diversity and population structure of red deer (Cervus elaphus) in Northern Germany, Mammalian biology*, 2016.
- Eco-Kare International, *Effectiveness of wildlife mitigation measures for turtles on Highway 69 from 2015 to 2016. A report for public dissemination submitted to the Ontario Ministry of Transportation, North Bay, Ontario, Canada*, 2015, 86 p.
- Fairbank E. R., *Use and effectiveness of wildlife crossing structures with sections of wildlife fencing in Western Montana*, 2011, 27 p.
- Ford A. T., Clevenger A. P., *Factors affecting the permeability of road mitigation measures to the movement of small mammals. Canadian journal of zoology*, 2019, p. 379-384.
- Ford A. T., Clevenger A. P. & Bennett A., *Comparison of methods of monitoring wildlife crossing-structures on highways. Journal of wildlife management*, 2009, p. 1213-1222.
- Ford A. T., Clevenger A. P., Huijser M. P. & Dibb A., *Planning and prioritization strategies for phased highway mitigation using wildlife-vehicle collision data. Wildlife biology*, 2011, p. 253-265.
- Foster M. L., and Humphrey S. R., *Use of highway underpasses by florida panthers and other wildlife. Wildlife society bulletin*, 1995, p. 95-100.
- Fournier P. et al., *New high-speed rail-road sea between tours and bordeaux. Evaluation of use and effectiveness underpasses implemented to maintain optimal permeability for semi aquatic mammals*, International conférence IENE, 2016.
- François D., Le Féon V., *Abeilles sauvages et dépendances vertes routières. Pourquoi et comment développer la capacité d'accueil des dépendances vertes routières en faveur des abeilles sauvages*, 2017, 120 p.
- Fuhrmann M., Tauchert J., *Annahme von kleintier-durchlässen – Einfluss der laufsohlenbeschaffenheit und des kleinklimas auf die erfolgreiche durchquerung*, 2010, 149 p.
- Gagnon J. W. et al., *Cost-effective approach to reducing collisions with elk by fencing between existing highway structures. Human-wildlife interactions*, 2015, p. 248-64.
- Georgii B. et al., *Nutzung von grünbrücken und anderen querungshilfen durch säugetiere. gesamtbericht zum forschungs- und entwicklungsvorhaben*, 2006, 109 p.
- Georgii B. et al., *Use of wildlife passages by invertebrate and vertebrate species. Introduction 2 Study Area, <http://www.Oeko-Log.Com/>*, 2011, p. 1-27.
- Gigleux M., De Billy V., *Petits ouvrages hydrauliques et continuités écologiques - Cas de la faune piscicole. Note d'information du Sétra - Série Économie et Environnement Conception*, Setra, 2012, p. 1-25.
- Gilhooly P. S. et al., *Wildlife mortality on roads and railways following highway mitigation. Ecosphere*, 2019, 16 p.
- Girardet X., Conruyt-Rogéon G. & Foltête J. C., *Does regional landscape connectivity influence the location of roe deer roadkill hotspots? European journal of wildlife research*, 2015, p. 731-742.
- Glenside Ecological Services Limited, *Turtle road mortality mitigation project 2014-2016*, 2016, p. 88.
- Glista, David J. et al., *A review of mitigation measures for reducing wildlife mortality on roadways. Landscape and urban planning*, 2009, p. 1-7.

- Glista D. J., DeVault T. L. & DeWoody J. A., *A review of mitigation measures for reducing wildlife mortality on roadways*, *Landscape and urban planning*, 2009, p. 1-7.
- Gloyne C. C., and Clevenger A. P., *Cougar Puma concolor use of wildlife crossing structures on the trans-canada highway in Banff National Park, Alberta*. *Wildlife biology*, 2001, p. 117-124.
- Gordon K. M., *Mule deer use of underpasses in Western and Southeastern Wyoming*, 2003, p. 309-318.
- Grandmaison D., *Crossing structures and fencing to reduce wildlife mortality*, 2015, 1 p.
- Guarnieri M., *Impacts of human presence at wildlife crossing structures*, 2019, 1 p.
- Guinard E., Pineau C., *Les mustélidés semi-aquatiques et les infrastructures routières et ferroviaires. Loure et vison d'Europe*, 2007, 13 p.
- Gunson K., Seburn D., Kintsch J. & Crowley J., *Best management practices for mitigating the effects of roads on amphibian and reptile species at risk in Ontario*, 2016, 112 p.
- Hlavá V. et al., *Wildlife and traffic in the Carpathians. guidelines how to minimize impact of transport infrastructure development on nature in the Carpathian countries*, 2019, 226 p.
- Huijser M. P., Paul K. J. S., *Wildlife-vehicle collision and crossing mitigation measures: A Literature Review for Parks Canada, Kootenay National Park*, 2008, 119 p.
- Huijser M. P. et al., *Effectiveness of short sections of wildlife fencing and crossing structures along highways in reducing wildlife-vehicle collisions and providing safe crossing opportunities for large mammals*. *Biological conservation*, 2016, p. 61-68.
- Huijser M. P. et al., *Animal vehicle crash mitigation using advanced technology, phase I: review, design and implementation, Oregon department of transportation research unit*, 2006, 292 p.
- Huijser M. P. et al., *Best practices manual : wildlife-vehicle collision reduction study: report to U.S. congress*, 2008, 204 p.
- IENE, *International Conference on Ecology and Transportation Life for a Greener Transport Infrastructure September 16-19, 2014 Malmö, Sweden - Programme & abstracts*, 2014, 178 p.
- Jacobson S. L. et al., *A behavior-based framework for assessing barrier effects to wildlife from vehicle traffic volume*. *Ecosphere*, 2016, 15 p.
- Jaeger J. et al., *Monitoring the effectiveness of wildlife passages for medium-sized and small mammals along HW 175*, 2012, p. 1-27.
- Jaeger J. et al., *Landscape fragmentation in Europe*. *European environment agency*, 2011, 87 p.
- Jakes A. F. et al., *A fence runs through it: a call for greater attention to the influence of fences on wildlife and ecosystems*. *Biological conservation*, 2018, p. 310-318.
- Jeffrey W., Raymond E. & Norris L., *Use of video surveillance to assess wildlife behavior and use of wildlife underpasses in Arizona*, 2005, p. 534-544.
- Jones D. N. & Pickvance J., *Forest birds use vegetated fauna overpass to cross multi-lane road*. *Oecologia Australis*, 2013, 10 p.
- Jumeau J., *Facteurs à l'origine de la distribution d'une communauté amphibien dans les bassins d'eaux pluviales : Une étude de cas dans la plaine agricole du Bas-Rhin, France*, 2020, 20 p.
- Jumeau J. et al., *Factors driving the distribution of an amphibian community in stormwater ponds: a study case in the agricultural plain of Bas-Rhin, France*. *European journal of wildlife research*, 2020, 20 p.
- Kachamakova M. N., Zlatanova D. P., *Use of non-specialised structures as wildlife passages, Iyulin motorway, Bulgaria*, IENE Conference, 2016, 1 p.

- Karlson M., Seiler A., Mörtberg U., *The effect of fauna passages and landscape characteristics on barrier mitigation success. Ecological engineering*, 2017, p. 211-20.
- Kelm J. et al., *How often does a strictly arboreal mammal voluntarily cross roads New insights into the behaviour of the hazel dormouse in roadside habitats, Folia zoologica*, 2015, p. 342-348.
- Kintsch J. A. & Cramer P., *Permeability of existing structures for terrestrial wildlife : a passage assessment system. Transportation research*, 2011, 188 p.
- Kintsch J. A. & Cramer P., *A Standardized Framework for using camera traps to monitor wildlife crossing structures*, 2015, 1 p.
- Kociolek A. V. et al., *Wildlife crossings. national geographic*, 2019, 5 p.
- Krauze-Gryz D. et al., *Temporal pattern of wildlife-train collisions in Poland. Journal of wildlife management*, 2017, p. 1513-1519.
- Kusak J. et al., *The permeability of highway in Gorski Kotar (Croatia) for large mammals. European journal of wildlife research*, 2009, p. 7-21.
- Kušta T. et al., *Effectiveness and costs of odor repellents in wildlife-vehicle collisions: a case study in Central Bohemia, Czech Republic. Transportation research Part D : Transport and environment*, 2015, p. 1-5.
- Lapoint S. D., Forest B. R. & Kays R., *Animals crossing the Northway : are existing culverts useful ?*, 2014, p. 11-17.
- LBM, *Grünbrücken rheinland-pfalz - 10 jahre monitoring - eine erfolgsgeschichte für die wiedervernetzung von wildtierkorridoren bei straßenbauvorhaben in rheinland-pfalz*, 2011, 80 p.
- Lesbarrères D. & Fahrig L., *Measures to reduce population fragmentation by roads : what has worked and how do we know? Trends in ecology and evolution*, 2012, p. 374-380.
- Lister N. M., Brocki M. & Ament R., *Integrated adaptive design for wildlife movement under climate change. Frontiers in ecology and the environment*, 2015, p. 493-502.
- Little S. J., Harcourt R. G. & Cleverger A. P., *Do wildlife passages act as prey-traps? Biol. Conserv.*, 2002, p. 135-145.
- Markle C. E. et al., *The true cost of partial fencing: evaluating strategies to reduce reptile road mortality. Wildlife society bulletin*, 2017, p. 342-350.
- Martinig A. R. & Bélanger-Smith K., *Factors influencing the discovery and use of wildlife passages for small fauna. Journal of applied ecology*, 2016, p. 825-836.
- Massachusetts Department of Transportation, *Design of bridges and culverts for wildlife passage at freshwater streams*, 2010, 294 p.
- Mata C. et al., *Effectiveness of wildlife crossing structures and adapted culverts in a highway in Northwest Spain*, 1999, p. 4-6.
- Mata C. et al., *Are motorway wildlife passages worth building ? Vertebrate use of road-crossing structures on a spanish motorway. Journal of environmental management*, 2008, p. 407-415.
- Mata C. et al., *Complementary use by vertebrates of crossing structures along a fenced spanish motorway. Biological conservation*, 2005, p. 397-405.
- Mata C. et al., *Seasonal changes in wildlife use of motorway crossing structures and their implication for monitoring programmes. Transportation research. Part D : Transport and environment*, 2009, p. 447-452.
- McGregor M. E., Wilson S. K. & Jones D. N., *Vegetated fauna overpass enhances habitat connectivity for forest dwelling herpetofauna. Global ecology and conservation*, 2015, p. 221-231.
- McInturff A. et al., *Fence ecology: frameworks for understanding the ecological effects of fences, BioScience*, 2020, p. 971-985.

- Meese R. J. et al., *Wildlife crossings assessment & mitigation manual*, *Landscape*, 2007, p. 1-87.
- Mimet A., Clauzel C. & Foltête J. C., *Locating wildlife crossings for multispecies connectivity across linear infrastructures*. *Landscape Ecology*, 2016, p. 1955-1973.
- Ministère de la Transition écologique et solidaire - Direction générale des infrastructures de transport et de la mer, *Instruction technique relative aux modalités d'élaboration des opérations d'investissement et de gestion sur le réseau routier national*, 2018, 202 p.
- Ministère de l'Écologie du Développement durable et de l'Énergie, Commissariat général au développement durable, Direction de l'eau et de la biodiversité, *Lignes directrices nationales sur la séquence Éviter, Réduire et Compenser les impacts sur les milieux naturels*, Collection Références, 2013, 230 p.
- Ministry of transportation - Province of Ontario, *Environmental guide for mitigating road impacts to wildlife*, 2017, 108 p.
- Ministry of Agriculture, Food and the Environment, *Technical prescriptions for wildlife crossing and fence design (second edition, revised and expanded)*. *Documents for the mitigation of habitat fragmentation caused by transport infrastructure*, Number 1, 2016, 124 p.
- Ministry of Transport Construction and Regional Development of the Slovak Republic, *Migration structures for wildlife part 1: project engineering, construction, operation, maintenance and repair of ecoducts*, 2011, p. 1-40.
- Morand, A. et Carsignol J., *Amphibiens et dispositifs de franchissement des infrastructures de transport terrestre*. Cerema, *Collection Connaissances*, 2019, p. 1-58.
- Myslajek R. W. et al., *Utilisation of a wide underpass by mammals on an expressway in the Western Carpathians, s Poland*, *Folia zoologica*, 2016, p. 225-232.
- Myslajek R. W. et al., *Mammal use of wildlife crossing structures along a new motorway in an area recently recolonized by wolves*, *European journal of wildlife research*, 2020, 14 p.
- Natural England, *Green bridges - A literature review. natural england commissioned report NECR181*, 2015, 51 p.
- Natureparif, *Les passages à faune en bois*, 2009, 13 p.
- Nezval V. & Bil M., *Spatial analysis of wildlife-train collisions on the Czech rail network*. *Applied geography*, 2020, 7 p.
- Ng S. J. et al., *Use of highway undercrossings by wildlife in Southern california*. *Biological conservation*, 2004, p. 499-507.
- Niehaus A. C., and Wilson R. S., *Integrating conservation biology into the development of automated vehicle technology to reduce animal-vehicle collisions*. *Conservation letters*, 2018, p. 2017-2018.
- O'Brien E. et al., *Contractor report 2018-3 call 2013: Roads and wildlife - The roads and wildlife manual*, 2018, 131 p.
- Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), N° 326 : *Les corridors faunistiques en Suisse*, *Cahier de l'environnement*, 2001, 118 p.
- Olsson M., Balot K. & Lindqvist M., *Ecoduct Sandsjöbacka - Challenges and solutions when constructing an ecoduct over an existing highway*, International conference IENE, 2018, 1 p.
- Olsson Mathias et al., *Effect of a retrofitted protection screen on wildlife use of an underpass in Southern Sweden*, International conférence IENE, 2018, 1 p.
- Olsson M., Seiler A., *The use of a moose and roe deer permeability index to develop performance standards for conventional road bridges*, International conference IENE, 2012, 1 p.

- Olsson M. et al., *The use of an underpass in southern Sweden*, IENE conference, 2018, 1 p.
- Olsson M., Balot K., Lindqvist M., *Ecoduct Sandsjöbacka - Challenges and solutions when constructing an ecoduc over an existing highway*, IENE conference, 2018, 1 p.
- Patrick D. L., Mullan J. B., Paiewonsky L., *Design of bridges and culverts for wildlife passage at freshwater streams the commonwealth of Massachusetts*, 2010, 115 p.
- Pell S. & Jones D., *Are wildlife overpasses of conservation value for birds? A study in australian sub-tropical forest, with wider implications. Biological conservation*, 2015, p. 300-309.
- Pfister H. P. et al., *Bio-oekologische wirksamkeit von gruenbruecken ueber verkehrswege*, 1997.
- Pichard O. et al., *Critères éco-éthologiques à prendre en compte pour la restauration des continuités écologiques au droit des ouvrages de franchissement d'infrastructures de transport*, 2018, 171 p.
- Popp J. N. & Hamr J., *Seasonal use of railways by wildlife. Diversity*, 2018, p. 1-10.
- Reck H., Hänel K. & Huckauf K., *Nationwide priorities for ecosystem connectivity – Final report of the R & D project*, 2010, 24 p.
- Reck H., *Do we have a proper idea of how much investment for defragmentation is needed? Experiences about financial, spatial and temporal demands for effective connection of ecoducts by designing ecological corridors*, IENE International Conference, 2016, 1 p.
- Reck H., *Roadside vegetation and biological diversity: potential and reality*, 2018, 5 p.
- Reck H., Rietze J. & Herman G., *Zöologische untersuchungen an den grünbrücken württemberg*, 1987, p. 469-492.
- Reck H. et al., *Green bridges, wildlife tunnels and fauna culverts the biodiversity approach*, BfN-Skripten 522, 2019.
- Reck H. & Nissen H., *Laufkäfer auf der autobahn - die laufkäferfauna (carabidae) eines autobahn-mittelstreifens und einer benachbarten grünbrücke. Faunistisch-Ökologische Mitteilungen*, 2014, p. 371-384.
- Reck H. & Van Der Ree R., *Insects, snails and spiders: the role of invertebrates in road ecology. Handbook of Road Ecology*, 2015, p. 247-257.
- Redon de Colombier L., *Intérêts écologiques des bords de route en milieu agricole intensif. Thèse de doctorat, Muséum national d'histoire naturelle, E.D. 227, Sciences de la nature et de l'homme*, 2008, 190 p.
- Remon J., Chevallier E. & Moulherat, S., *Functional connectivity of biodiversity across an accumulation of large-scale transportation infrastructures in the South-West of France*, IENE International Conference, 2016, 1 p.
- Riginos C. et al., *Wildlife warning reflectors and white canvas reduce deer-vehicle collisions and risky road-crossing behavior*, *Wildlife society bulletin*, 2018, p. 119-30.
- Righetti A. et al., *Faunagerechte sanierung von bestehenden gewässerdurchlässen*, 2008, 92 p.
- Rodríguez A., Crema G., Delibes M., *Factors affecting crossing of red foxes and wildcats through non-wildlife passages across a high-speed railway*, *Ecography*, 1997, p. 287-94.
- Rondinini C., Doncaster C. P., *Roads as barriers to movement for hedgehogs. Functional ecology*, 2002, p. 504-509.
- Rosell C., *Road maintenance practices to improve wildlife conservation and traffic safety*, IENE International Conference, 2014, 64 p.

- Rosell C. et al., *Bats and invertebrates provide evidence of ecoducts' role as key elements of the green infrastructure*, IENE International Conference, 2016, p. 1-12.
- Ruediger B., DiGiorgio M., *Safe passage - A user's guide to developing effective highway crossings for carnivores and other wildlife*, 2009, p. 19-23.
- Ruediger W., Jacobson S., *Multiple-use crossing structures for providing wildlife habitat connectivity. Proceedings of the 2013 International Conference on Ecology and Transportation, Icoet*, 2013, 14 p.
- Ruffrey V., Bretaud J.-F., *DEAL Guyane RN 2 : réalisation de ponts de singe au droit de couloirs écologiques*, 2013, 6 p.
- Rytwinski T. et al., *How effective is road mitigation at reducing road-kill? A meta-analysis*, *PLoS ONE*, 2016, p. 1-25.
- Rytwinski T. et al., *Experimental study designs to improve the evaluation of road mitigation measures for wildlife. Journal of environmental management*, 2015, p. 48-64.
- Scher O., *Les bassins d'eau pluviale autoroutiers en région Méditerranéenne : Fonctionnement et Biodiversité. Évaluation de l'impact de la pollution routière sur les communautés animales aquatiques. Thèse de doctorat, Université de Provence, E.R. Biodiversité & Environnement*, 2005, 130 p.
- Schmellekamp C., Tegethof U., *Viability of linking bridges in the area of environmental corridors*, IENE International Conference, 2016, 1 p.
- Seidler R. G., Green D. S. & Beckmann J. P., *Highways, crossing structures and risk: behaviors of greater yellowstone pronghorn elucidate efficacy of road mitigation*, *Global ecology and conservation*, 2018, 10 p.
- Seiler A., Olsson M., *Are non wildlife underpasses effective passages for wildlife?*, 2005, p.317-331.
- Seiler A., *Ungulate-train collisions in sweden - review, gis-analyses and train - Drivers experiences*, 2011, 85 p.
- Seiler A. & Bhardwaj M., *Wildlife and traffic: an inevitable but not unsolvable problem?*, *Problematic wildlife*, 2020, p. 171-190.
- Seiler A., Klein J. & Chapron G., *Barriers or bridges: simulating effects of road mitigation on population viability*, IENE International Conference, 2016, 13 p.
- Seiler A. et al., *Cost-benefit analyses for wildlife and traffic safety. Technical report*, 2016, 60 p.
- SETRA, *Passage pour la grande faune - Guide technique*, 1993, 70 p.
- SETRA, *Aménagements et mesures pour la petite faune*, 2005, 247 p.
- SETRA, *Fachez mieux, le fauchage raisonné. Note d'information du Séttra - Série Chaussées Dépendance n°122*, 2009, p. 1-24.
- Shilling F., *Wildlife-vehicle conflict hotspots along California highways (2009-2015): Carcasses*, 2016, 11 p.
- Shilling F. et al., *Vermont's best management practices for highways & wildlife connectivity*, 2012, p. 1-144.
- Simpson N. O. et al., *Overpasses and underpasses: effectiveness of crossing structures for migratory ungulates. Journal of wildlife management*, 2016, p. 1370-378.
- Smith D. J., Van Der Ree R. & Rosell C., *Wildlife crossing structures: an effective strategy to restore or maintain wildlife connectivity across roads*, *Handbook of Road Ecology*, 2015, p. 172-183.
- Soga A. et al., *Relationship between spatial distribution of sika deer-train collisions and sika deer movement in japan. Human-wildlife interactions*, 2015, p. 198-210.

- Sordello Romain, *Bilan technique sur la première génération des schémas régionaux de cohérence écologique - Prise en compte des enjeux de cohérence issus des orientations nationales*, Centre de ressources Trame verte et bleue (MTEs), 2017, 152 p.
- Sordello R. (coord.), *Construire des indicateurs nationaux sur la pollution lumineuse. Réflexion préliminaire*, UMS PatriNat, Cerema, CESCO, DarkSkyLab, IRD, Irstea, 2018, 47 p.
- Sordello R., Conruyt-Rogéon G. & Touroult J., *La fonctionnalité des continuités écologiques - Premiers éléments d'illustration et de compréhension*, 2014, 33 p.
- Sordello R. et al., *Le changement climatique et les réseaux écologiques. Point sur la connaissance et pistes de développement*, 2014, 178 p.
- Sordello R. et al., *Trame Noire : un sujet qui « monte » dans les territoires*, Sciences Eaux & Territoires, 2018, p. 78-85
- Sordello R. et al., *Effet fragmentant de la lumière et impacts sur le déplacement des espèces*, 2014, 32 p.
- Sorolla A. et al., *Monitoring wildlife crossing structures in Catalonia's road network*, IENE International Conference, 2016, 1 p.
- Stewart K. M., *Effectiveness of wildlife crossing structures to minimize traffic collisions with mule deer and other wildlife in Nevada*, 2015, p. 1-34.
- Surowiecki A. & Bujak A., *Environmental protection solutions in the process of modernisation of the polish railways*, 2013, p. 93-111.
- Tissier M.L. et al., *An anti-predation device to facilitate and secure the crossing of small mammals in motorway wildlife underpasses*. *Ecological Engineering*, 2016, p. 738-742.
- Trocme M., Righetti A., Wegelin A., *Ouvrages de franchissement pour la faune - Directive - ASTRA 18008. OFFROU*, 2014, 40 p.
- UICN, France, *Corridors d'infrastructures, corridors écologiques ? État des lieux et recommandations*, 2015, p. 1-37.
- Valitzki S.A. et al., *Deer responses to sounds from a vehicle-mounted sound-production system*. *Journal of wildlife management*, 2009, p. 1072-1076.
- Van der Grift E.A. et al., *Multiuse overpasses: does human use impact the use by wildlife?*, 2011, p. 115-123.
- Van Der Grift E.A. & Van Der Ree R., *Guidelines for evaluating use of wildlife crossing structures*. *Handbook of Road Ecology*, 2015, p. 119-128.
- Van der Grift E., Fabrice O. & Snep R., *Monitoring wildlife overpass use by amphibians: do artificially maintained humid conditions enhance crossing rates?*, ICOET, 2009, p. 341-347.
- Van Der Ree R., Gagnon J.W. & Smith D.J., *Fencing : a valuable tool for reducing wildlife-vehicle collisions and funnelling fauna to crossing structures*, *Handbook of Road Ecology*, 2015, p. 159-171.
- Van Der Ree R. & Van Der Grift E.A., *Recreational co-use of wildlife crossing structures*. *Handbook of Road Ecology*, 2015, p. 184-89.
- Van Der Ree R., Smith D.J., Grilo C., *Handbook of Road Ecology*, Wiley-Blackwell ed., 2015.
- Van Der Ree R., Van Der Grift E.A., Estacio C.M., *Overcoming the barrier effect of roads - how effective are mitigation strategies ? An international review of the use and effectiveness of underpasses and overpasses designed to increase the permeability of roads for wildlife*, 2007, 15 p.
- Vanpeene S. (coord.), *Prise en compte des orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques par les grandes infrastructures linéaires de l'État et de ses établissements publics - Troisième document en appui à la mise en œuvre de la Trame verte et bleue en France. Proposition issue du comité opérationnel Trame verte et bleue*, MEEDM ed., 2010, 94 p.

- Veenbaas G. and Brandjes J., *Use of fauna passages along waterways under highways. Proc. Third Int. Conf. Wildl. Ecol. Transp.*, 1999, p. 253-258.
- Vignon V. & H. Barbarreau, *Les collisions entre véhicules et ongulés sauvages : quel coût économique ?*, *Faune Sauvage* 279, 2008, p. 31-35.
- Vignon V. & Suez M., *Structuration spatiale des populations de cerfs élaphe autour de Paris : quels rôles des infrastructures de transport ?*, 2016, p. 60-67.
- Villemey A. et al., *Can linear transportation infrastructure verges constitute a habitat and/or a corridor for insects in temperate landscapes? A systematic review. Environmental evidence*, 2018, p. 1-33.
- Vinci Autoroutes, *Use by large mammals of wildlife crossing structure on an overpass in Western France results of the first three years of camera-trap surveys*, Colloque IENE, 2016, 9 p.
- Vinci Autoroutes, *Video : Préservation de la biodiversité : les ouvrages réalisés par Vinci Autoroutes*, <https://www.youtube.com/watch?v=xCyW6Vklcx8&t=43s>, 2019.
- Wang J., *Effectiveness of wildlife crossing structures on providing habitat connectivity for wild animals*, *Forest Resource Management. The Faculty of Forestry*, 2014, 20 p.
- Wansink D.E.H. et al., *Leidraad faunavoorzieningen bij infrastructuur (Rijkswaterstaat & ProRail)*, 2013, 122 p.
- Ważna A. et al., *Use of underpasses by animals on a fenced expressway in a suburban area in Western Poland. Nature conservation*, 2020, p. 1-18.
- White I.C. & Hughes S.A., *Trial of a bridge for reconnecting fragmented arboreal habitat for hazel dormouse muscardinus avellanarius at Briddlesford nature reserve, Isle of Wight, UK, Conservation evidence*, 2019, p. 6-11.
- Woess M., Grillmayer R. & Voelk F.H., *Green bridges and wildlife corridors in Austria*, 2002, p. 25-32.
- Wojciech J., *Small mammal use of modified culverts on the Lolo South project of Western Montana - an update*, ICOET 2003, p. 1-4.
- Work R., *Wildlife vehicle collision be decreased by increasing the number of wildlife passages in*, 2007, p. 392-400.
- Yanes M., Velasco J. M. & Suárez F., *Permeability of roads and railways to vertebrates: the importance of culverts. Biological conservation*, 1995, p. 217-222.
- Zlatanova D. et al., *Recommendations for the reduction of habitat fragmentation caused by transport infrastructure development*, 2010, 195 p.

Table des matières

■ Préambule 11

PARTIE I

■ Continuités écologiques et infrastructures de transport terrestre 14

FICHE 1.	Qu'est-ce qu'une continuité écologique ?	16
	Un outil d'aménagement du territoire	16
	Une réalité écologique indispensable à la conservation des espèces	18
FICHE 2.	Quelles sont les différentes méthodes pour identifier les continuités écologiques ?	22
	Identification des réservoirs de biodiversité*	23
	Identification des corridors écologiques	24
	Cas particulier de la trame noire*	26
FICHE 3.	Pourquoi faut-il tenir compte des continuités écologiques dans le cadre d'un projet d'infrastructure linéaire de transport ?	28
	Une obligation réglementaire	28
	Une nécessité écologique (fragmentation, collision)	29
	Un impératif de sécurité des usagers	40
FICHE 4.	Comment apporter une réponse efficace à l'interruption des continuités écologiques ?	42
	Assurer un rétablissement des continuités transversales et longitudinales	42
	Intégrer les continuités écologiques au cours des différents stades du projet	43
	S'assurer d'une bonne acceptation sociale des passages à faune	55

PARTIE II

■ Les passages à faune, une mesure efficace pour rétablir les connectivités transversales 58

1.	Les passages à faune sur les nouveaux projets d'infrastructures	62
1.1.	Les passages toute faune	64
FICHE 5.	Où construire un passage toute faune* ?	66
	En priorité au droit des continuités écologiques présentant des enjeux forts	66
	Dans les habitats ordinaires pour assurer une perméabilité globale suffisante	70
	Une localisation tenant aussi compte des contraintes techniques et des autres ouvrages de rétablissement	71
FICHE 6.	Quel type de passage toute faune choisir ?	77
	Passage supérieur ou inférieur : un choix défini d'abord en fonction du profil en long	77
	Passage mixte ou spécifique : un choix lié au niveau des enjeux de rétablissement et à la possibilité de complémentarité avec un autre usage	83
FICHE 7.	Comment dimensionner le passage ?	90
	Largeur en fonction de l'importance des continuités à rétablir et de la mixité ou non du passage	91

	Largeur en fonction de la longueur de traversée	98
	Pour certaines situations préférer deux passages de taille inférieure plutôt qu'un passage de plus grande taille	99
	Largeur en fonction de la présence de cortèges cibles présentant un enjeu particulier	100
FICHE 8.	Comment concevoir et aménager les passages toute faune ?	106
	Aménagement des passages supérieurs	106
	Aménagement des passages inférieurs	120
	Aménagement des abords	124
	Au-delà des abords	131
FICHE 9.	Quels sont les différents types de constructions ?	
	Pour quel coût ?	133
	Type de matériaux	133
	Type de construction	134
1.2.	Les passages et aménagements pour la petite faune	136
FICHE 10.	Où construire des passages petite faune ?	137
	Une règle de base : une possibilité de passage tous les 300 m	137
	Une prise en compte de l'ensemble des possibilités de franchissement	138
FICHE 11.	Comment aménager les petits ouvrages hydrauliques pour la petite faune ?	140
	Les ouvrages mixtes petite faune/rétablissement d'un cours d'eau ou d'un fossé	140
	Les ouvrages hydrauliques associés à un conduit sec	151
	Les ouvrages hydrauliques de rétablissement des écoulements temporaires des talwegs secs	152
FICHE 12.	Comment aménager des ouvrages agricoles/forestiers/piétons pour la petite faune ?	154
FICHE 13.	Comment aménager des passages spécialisés (passage amphibiens – passage canopée) ?	156
	Passage amphibiens ou « batracoducs »	156
	Passage canopée	164
FICHE 14.	Comment aménager des passages petite faune non spécialisés ?	165
	Types et tailles des passages	165
	Conditions d'implantation	167
	Aménagements complémentaires	172
2.	Sur les infrastructures existantes – Requalification	178
2.1.	L'aménagement et/ou la requalification d'ouvrages en place	179
FICHE 15.	Comment améliorer la fonctionnalité des passages à faune existants ?	180
	Renforcement des plantations, suppression des nuisances lumineuses	180
	Élargissement d'ouvrages supérieurs	181
FICHE 16.	Comment favoriser le passage de la petite faune sur les ouvrages existants non dédiés à la faune ?	183
	Aménagement de bandes enherbées pour la petite faune sur ou dans les ouvrages peu circulés (agricoles, forestiers...)	183
	Transformation d'un ouvrage non dédié en passage toute faune	185
	Création d'une banquette petite faune dans les ouvrages hydrauliques en place (encorbellement, banquette naturelle...)	186
	Rétablissement de la continuité dans les ouvrages de décharge hydraulique équipés d'une fosse en eau	195

2.2.	Construction d'ouvrages neufs sur une infrastructure existante	196
FICHE 17.	Où et comment construire un passage toute faune sur une infrastructure existante ?	197
FICHE 18.	Comment créer un passage petite faune sur une infrastructure existante ?	199
	Par fonçage ou microtunnelage	199
	Par ouverture de la voie	201
	Par installation d'un passage canopée	204
2.3.	Autres aménagements	205
FICHE 19.	Quels sont les dispositifs avertisseurs (faune et/ou véhicules) permettant de limiter les collisions ?	206
	Surfaces réfléchissantes	206
	Dispositifs acoustiques	207
	Systèmes d'information des conducteurs	208
	Systèmes mixtes d'information des conducteurs et d'alerte de la faune	209
	Systèmes embarqués	210

PARTIE III

- **Les dépendances vertes, support des continuités longitudinales** **212**

FICHE 20.	Comment intégrer la biodiversité dans la conception des dépendances ?	217
	Modelage des abords de la voie favorable à la biodiversité*	217
	Aménagement végétal favorable	219
	Multiplication des habitats	220
	Gestion adaptée	221
FICHE 21.	Comment permettre l'accès des dépendances à la faune tout en assurant sa protection ? Les clôtures et les barrières	227
	Les conditions d'implantation des clôtures et des barrières le long des dépendances	227
	Les types de clôtures ou de barrières en fonction des cortèges d'espèces	243

PARTIE IV

- **Comment assurer l'efficacité des mesures dans le temps : entretien, suivis** **254**

FICHE 22.	Comment entretenir les passages à faune ?	256
	Quelques rappels réglementaires	256
	Entretien de l'ouvrage et de ses abords immédiats	257
	Entretien des dépendances vertes	258
FICHE 23.	Comment assurer le suivi des passages à faune ?	260
	Quelques généralités, rappels réglementaires et méthodologiques	260
	Suivis de l'efficacité d'une mesure	261

- **Glossaire** **267**

- **Liste des abréviations** **275**

- **Bibliographie** **279**

Wildlife crossings

Preserving and restoring ecological continuity in linear transport infrastructure projects

The erosion of biodiversity is picking up speed in France as it is elsewhere. France is the European country with the fifth-highest number of globally threatened species of fauna and flora. The causes of biodiversity destruction include the disappearance and fragmentation of ecosystems brought about by land transport infrastructures such as motorways or high-speed railways. Reducing the impact of these infrastructures on biodiversity means maintaining existing ecological continuities when designing new projects, as well as restoring ecological functions that have been interrupted during the construction of existing infrastructures. The solutions studied take the form of wildlife crossings or the development of green areas. This richly illustrated, comprehensive guide sets out to foster and facilitate consideration of these issues in different linear transport infrastructure development projects. In particular, it is an update of the former reference guides *Passages pour la grande faune*, SETRA, 1993 and *Aménagements et mesures pour la petite faune*, SETRA, 2005. It is intended for infrastructure operators and, more broadly, for all those concerned with the preservation of biodiversity in connexion with transport infrastructure development.

Los pasos para la fauna

Preservar y restaurar las continuidades ecológicas en los proyectos de infraestructuras lineales de transporte

La erosión de la biodiversidad se acelera en Francia, al igual que en el extranjero. Francia es el 5^{to} país de Europa que alberga la mayor cantidad de especies de fauna y flora mundialmente amenazadas. Entre las causas de destrucción de la biodiversidad figuran la desaparición y la fragmentación de los ecosistemas inducidos por las infraestructuras de transporte terrestre como son las autopistas o las líneas de alta velocidad. La disminución del impacto de estas infraestructuras sobre la biodiversidad pasa por el mantenimiento de las continuidades ecológicas existentes al diseñar nuevos proyectos, así como por la restauración de las funcionalidades ecológicas interrumpidas en el pasado al construir las infraestructuras existentes. Las soluciones estudiadas en particular tomarán la forma de pasos para la fauna o acondicionamientos de dependencias verdes. Muy ricamente ilustrada, esta guía muy completa tiene por objeto ayudar y facilitar la toma en consideración de estos retos al realizar diferentes proyectos de acondicionamiento de infraestructuras lineales de transporte. En particular, constituye una reactualización de las antiguas guías de referencia *Pasos para la fauna mayor*, SETRA, 1993 y *Acondicionamientos y medidas para la fauna menor*, SETRA, 2005. Está dirigida a los operadores de infraestructuras, pero más ampliamente a los que están preocupados por la preservación de la biodiversidad en un contexto de desarrollo de las infraestructuras de transporte.

© 2021 - Cerema

Le Cerema, l'expertise publique pour le développement et la cohésion des territoires. Le Cerema est un établissement public qui apporte un appui scientifique et technique renforcé dans l'élaboration, la mise en œuvre et l'évaluation des politiques publiques de l'aménagement et du développement durables. Centre de ressources et d'expertise, il a pour vocation de produire et de diffuser des connaissances et savoirs scientifiques et techniques ainsi que des solutions innovantes au cœur des projets territoriaux pour améliorer le cadre de vie des citoyens. Alliant à la fois expertise et transversalité, il met à disposition des méthodologies, outils et retours d'expérience auprès de tous les acteurs des territoires : collectivités territoriales, services de l'État et partenaires scientifiques, associations et particuliers, bureaux d'études et entreprises..

Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement du Cerema est illicite (article L.122-4 du code de la propriété intellectuelle). Cette reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles L.335-2 et L.335-3 du CPI.

Cet ouvrage a été imprimé sur du papier issu de forêts gérées durablement (norme PEFC) et fabriqué proprement (norme ECF). L'imprimerie Jouve-Print est une installation classée pour la protection de l'environnement et respecte les directives européennes en vigueur relatives à l'utilisation d'encre végétales, le recyclage des rognures de papier, le traitement des déchets dangereux par des filières agréées et la réduction des émissions de COV.

Impression : Duplirprint – 733 rue Saint-Léonard – 53100 Mayenne – tél. 02 43 11 09 00

Photo de couverture :

« Écopont végétalisé » – © Photothèque VINCI Autoroutes – Emmanuel Rondeau (photo recadrée et retouchée par le Cerema - suppression d'une marque d'entreprise sur la bâche d'un camion)

Coordination : Cerema DSC/DDC/EVC (P. Marchand)

Maquettage : PAO Concept - pao.concept@free.fr

Achévé d'imprimer : novembre 2021

Dépôt légal : novembre 2021

ISBN : 978-2-37180-525-5 (pdf)

ISBN : 978-2-37180-531-6 (papier)

ISSN : 2417-9701

Éditions du Cerema

Cité des mobilités

25, avenue François Mitterrand CS 92803

69674 Bron Cedex

Pour commander ou télécharger nos ouvrages › www.cerema.fr

Pour toute correspondance › bventes@cerema.fr - Tél. 04 72 74 59 59

La collection « Références » du Cerema

Cette collection regroupe l'ensemble des documents de référence portant sur l'état de l'art dans les domaines d'expertise du Cerema (recommandations méthodologiques, règles techniques, savoir-faire...), dans une version stabilisée et validée. Destinée à un public de généralistes et de spécialistes, sa rédaction pédagogique et concrète facilite l'appropriation et l'application des recommandations par le professionnel en situation opérationnelle.

Les passages à faune

Préserver et restaurer les continuités écologiques avec les infrastructures linéaires de transport

L'érosion de la biodiversité s'accélère en France comme ailleurs. La France est le 5^e pays d'Europe abritant le plus grand nombre d'espèces de faune et de flore mondialement menacées. Parmi les causes de destruction de la biodiversité figurent la disparition et la fragmentation des écosystèmes induites par les infrastructures de transport terrestre telles que les autoroutes ou les LGV. La diminution de l'impact de ces infrastructures sur la biodiversité passe par le maintien des continuités écologiques existantes lors de la conception de nouveaux projets mais aussi par la restauration des fonctionnalités écologiques anciennement interrompues lors de la construction des infrastructures existantes. Les solutions étudiées prennent notamment la forme de passages à faune ou d'aménagement de dépendances vertes. Très richement illustré, ce guide très complet a pour objet d'aider et de faciliter la prise en compte de ces enjeux lors des différents projets d'aménagement d'infrastructures linéaires de transport. Il constitue notamment une réactualisation des anciens guides de référence Passages pour la grande faune, SETRA, 1993 et Aménagements et mesures pour la petite faune, SETRA, 2005. Il s'adresse aux opérateurs d'infrastructures mais plus largement à ceux qui sont concernés par la préservation de la biodiversité dans un contexte de développement des infrastructures de transport.

Sur le même thème *(En téléchargement gratuit sur www.cerema.fr)*

Adapter la gestion des bords de routes pour préserver les insectes pollinisateurs sauvages
2021

Permettre à la faune de franchir les infrastructures linéaires de transport
Exemples de requalifications d'infrastructures
2020

Amphibiens et dispositifs de franchissement des infrastructures de transport
2019

La gestion différenciée des dépendances vertes - Phase 1
État des lieux et mise en évidence de perspectives relatives à la gestion différenciée des dépendances vertes des infrastructures de transport
2018

La gestion différenciée des dépendances vertes - Phase 2
Le suivi des plans de gestion différenciée
2018

Aménagement et cohésion des territoires - Ville et stratégies urbaines - Transition énergétique et climat - Environnement et ressources naturelles - Prévention des risques - Bien-être et réduction des nuisances - Mobilité et transport - Infrastructures de transport - Habitat et bâtiment

En téléchargement gratuit
ISSN : 2276-0164
ISBN : 978-2-37180-536-1



9 782371 805361